

12851

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

DISPERSION FRENTE A LA COSTA DE
ROSARITO, B. C.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA:
VICTOR MANUEL GODINEZ SANDOVAL

ENSENADA, B.C., SEPTIEMBRE DE 1986.

DISPERSION FRENTE A LA COSTA DE
ROSARITO, B. C.

TESIS
QUE PRESENTA:
VICTOR MANUEL GODINEZ SANDOVAL

APROBADA POR:

Presidente del jurado
Dr. Miguel Fernando Lavín Peregrina

Sinodal propietario
M.C. Luis G. Alvarez Sanchez

Sinodal Propietario
Oc. Oscar Delgado Gonzalez

Sinodal Suplente
M.C. René Pinet Plasencia

Sinodal Suplente
M.C. Santiago Velez Muñoz

A Tita

A mi madre y hermanos con todo cariño

Contenido:

Resumen	i
Lista de Tablas	ii
Lista de Figuras	iii
1. Introducci3n	1
2. Antecedentes	3
3. Teor3a de dispersi3n en aguas someras	9
3.1. Definiciones	
3.2. T3cnica del movimiento al azar	
3.3. Modelo de Dispersi3n	
4. Obtenci3n y procesamiento de datos	22
5. Resultados	25
6. Discusi3n	40
7. Conclusi3nes	49
8. Sugerencias	51
9. Referencias	52
Ap3ndice A	55
Reconocimientos	69

RESUMEN.

Durante dos series de experimentos Lagrangeanos en Punta Los Buenos, Baja California, se siguieron varios grupos de entre 3 y 10 flotadores libres superficiales y a 10 metros de profundidad mediante el uso de un radar instalado en la costa. Se midió la velocidad de la corriente a lo largo de la costa y se hicieron cálculos de los coeficientes de difusión horizontal, en base al incremento de la varianza en el tiempo. El orden de magnitud encontrado para los coeficientes tanto en marzo de 1985 como en julio del mismo año fue de 10^4 y 10^5 cm^2s^{-1} en dirección perpendicular y paralela a la costa respectivamente, con una advección promedio al sur de 25 cm s^{-1} durante marzo y en julio la advección promedio al norte fue de 15 cm s^{-1} . Las mediciones realizadas con flotadores libres y un corrientímetro concuerdan adecuadamente.

Los resultados de advección y del coeficiente de difusión perpendicular a la costa se usaron como entrada para un modelo numérico sencillo para predecir la dispersión de un contaminante pasivo.

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.- Velocidades promedio perpendicular (v_x) y a lo largo de la costa (v_y) para las liberaciones de marzo de 1985. (Página 32).

Tabla 2.- Velocidades promedio perpendicular (v_x) y a lo largo de la costa (v_y) para las liberaciones de julio de 1985. (Página 32).

Tabla 3.- Coeficientes del ajuste de mínimos cuadrados aplicados a la varianza del grupo de flotadores libres en marzo de 1985. (Página 33).

Tabla 4.- Coeficientes del ajuste de mínimos cuadrados aplicados a la varianza del grupo de flotadores libres en julio de 1985. (Página 34).

Tabla 5.- Estadística general del registro de corrientes en julio de 1985. (Página 37).

Tabla 6.- Estadística general del registro de corrientes en septiembre de 1985. (Página 39).

LISTA DE FIGURAS.

Fig 1.- Localizaci3n del 3rea de estudio mostrando el posicionamiento del radar y del anclaje del corrient3metro. (P3gina 4).

Fig 2.- Perfiles verticales de corrientes promedio a lo largo de la costa frente a Del Mar, California, en el periodo de 1978 - 1979. (Tomado de Winant y Bratkovich, 1981). (P3gina 7).

Fig 3.- Movimiento aleatorio de las particulas dentro del flujo. (P3gina 17).

Fig 4.- Trayectorias del centroide de flotadores superficiales liberados los dias, (a) 22 de marzo 1985, (b) 23 de marzo 1985, (c) 23 de marzo 1985 y (d) 24 de marzo 1985. (P3gina 26).

Fig 5.- Trayectoria del centroide de flotadores a 10 metros de profundidad para el d3a 24 de marzo 1985. (P3gina 27).

Fig 6.- Trayectoria del centroide de flotadores superficiales liberados los dias, (a) 4 de julio 1985, (b) 5 de julio 1985, (c) 5 de julio 1985, (d) 6 de julio de 1985, (e) 6 julio 1985, (f) 7 julio 1985, y (g) 9 julio 1985. (P3gina 28).

Fig 7.- Trayectorias del centroide de flotadores a 10 metros de profundidad liberados los dias, (a) 5 de julio 1985, (b) 5 de julio 1985, y (c) 6 de julio 1985. (P3gina 29).

Fig 8.- (a) Histogramas de las componentes de velocidad en direcci3n perpendicular (v_x) y paralela a la costa (v_y) y de rapidez, y (b) varianza por componentes y total del grupo de flotadores para la liberaci3n del d3a 22 de marzo 1985. (P3gina 30).

Fig 9.- Serie de tiempo del registro del corrient3metro y de viento durante julio de 1985. (P3gina 36).

Fig 10.- Serie de tiempo del registro del corrient3metro durante septiembre de 1985. (P3gina 38).

Fig 11.- Simulaci3n de la concentraci3n en marzo, despu3s de: (a) 6 horas y (b) 24 horas de la liberaci3n. Los n3meros en los contornos indican el n3mero de particulas, o sea mil3simos de la concentraci3n inicial.

(Página 42).

Fig 12.- Simulación de la concentración en julio después de: (a) 6 horas y (b) 24 horas de la liberación. (Página 43).

Fig 13.- Idem. 11, 48 horas después de la liberación. (Página 45).

Fig 14.- Idem. 12, 114 horas después de la liberación. (Página 45).

Fig 15.- Incremento de la varianza en el tiempo para la simulación de (a) marzo y (b) julio. (Página 48).

Fig A1.- Idem. 8, para el día 23 de marzo 1985. (Página 55).

Fig A2.- Idem. 8, para el día 23 de marzo 1985. (Página 56).

Fig A3.- Idem. 8, para el día 24 de marzo 1985. (Página 57).

Fig A3b.- Idem. 8, para el día 24 de marzo 1895. (Página 58).

Fig A4.- Idem. 8, para el día 4 de julio 1985. (Página 59).

Fig A5.- Idem. 8, para el día 5 de julio 1985. (Página 60).

Fig A5b.- Idem. 8, para el día 5 de julio 1985. (Página 61).

Fig A6.- Idem. 8, para el día 5 de julio 1985. (Página 62).

Fig A6b.- Idem. 8, para el día 5 de julio 1985. (Página 63).

Fig A7.- Idem. 8, para el día 6 de julio 1985. (Página 64).

Fig A8.- Idem. 8, para el día 6 de julio 1985. (Página 65).

Fig A8b.- Idem. 8, para el día 6 de julio 1985. (Página 66).

Fig A9.- Idem. 8, para el día 7 de julio 1985.
(Página 67).

Fig A10.- Idem. 8, para el día 9 de julio 1985.
(Página 68).

1.-

INTRODUCCION.

La circulaci3n en las regiones costeras es en general muy compleja. En particular, para la regi3n costera se requieren programas de investigaci3n extensos debido a que las condiciones que determinan el movimiento del oc3ano cambian m3s dr3sticamente que en mar profundo, alejado de la costa. Una consecuencia de esta circulaci3n es la dispersi3n de productos qu3micos y especies biol3gicas de una 3rea de la costa a otra.

Este trabajo forma parte de un programa de investigaci3n frente a la costa de Rosarito, Baja California llevado a cabo por la secci3n de Circulaci3n y Dispersi3n Costera del Centro de Investigaci3n Científica y de Educaci3n Superior de Ensenada (CICESE). Dentro de 3ste programa se realiz3 una serie de experimentos que consistieron de observaciones Lagrangeanas de corrientes superficiales y a 10 metros, la utilizaci3n de un corrientímetro anclado a 15 metros de la superficie y mediciones de viento en la costa. Haciendo uso de los resultados de estas observaciones, se implement3 un modelo num3rico sencillo como una primera aproximaci3n al problema de predicci3n de dispersi3n en la zona.

Dicho modelo se basa en la t3cnica del movimiento al azar, en la cual la concentraci3n de una propiedad est3 relacionada con la distribuci3n de probabilidad de las partículas liberadas

en un punto de interés; en el modelo, el contaminante es representado por un número de partículas (1000), cuyas trayectorias son seguidas al moverse junto con el fluido. Este tipo de técnica se ha utilizado para modelar dispersión en un flujo bidimensional estacionario y fue verificado con experimentos en laboratorio (Sullivan, 1971), en problemas de dispersión con fines meteorológicos (Thompson, 1971), y oceanográficos (Hunter, 1980; Allen, 1982).

La razón de este trabajo es obtener, a partir de observaciones directas, valores representativos de la advección y del coeficiente de difusión horizontal para la zona y usarlos junto con la técnica del movimiento al azar para modelar la variación espacio - temporal (x,y,t) de un material dispersándose desde una fuente inicial única dentro de un flujo con efecto de corte.

2.-

ANTECEDENTES.

La zona de estudio se encuentra dentro de la región conocida oceanográficamente como Southern California Bight (SCB), entre las latitudes $32^{\circ} 25'$ y $32^{\circ} 32'$ y longitudes $117^{\circ} 6'$ y $117^{\circ} 9'$. Geográficamente se extiende desde la frontera de México - Estados Unidos hasta playas de Rosarito, comprendiendo un área aproximada a 54 km^2 (fig. 1). El área es relativamente somera con pendiente suave y una profundidad promedio de aproximadamente 25 metros. Existe una descarga de aguas negras en la orilla de la playa con un gasto aproximado de $1.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

En el SCB las corrientes son variables y pueden presentar flujo en direcciones opuestas alternantes durante el año. La región costera está densamente poblada en ambos lados de la frontera México - EUA y la eliminación de aguas de desecho es en el mar, lo que representa un potencial de contaminación para la zona costera.

Casi todos los estudios y observaciones sobre corrientes en esta zona están limitados a aguas profundas lejos de la costa. Consecuentemente, se conoce poco acerca de la circulación y distribución de propiedades físicas y químicas dentro de algunas decenas de kilómetros de ella ($\approx 40 \text{ km}$).

En CalCOFI (Atlas No. 16) se presenta información sobre la

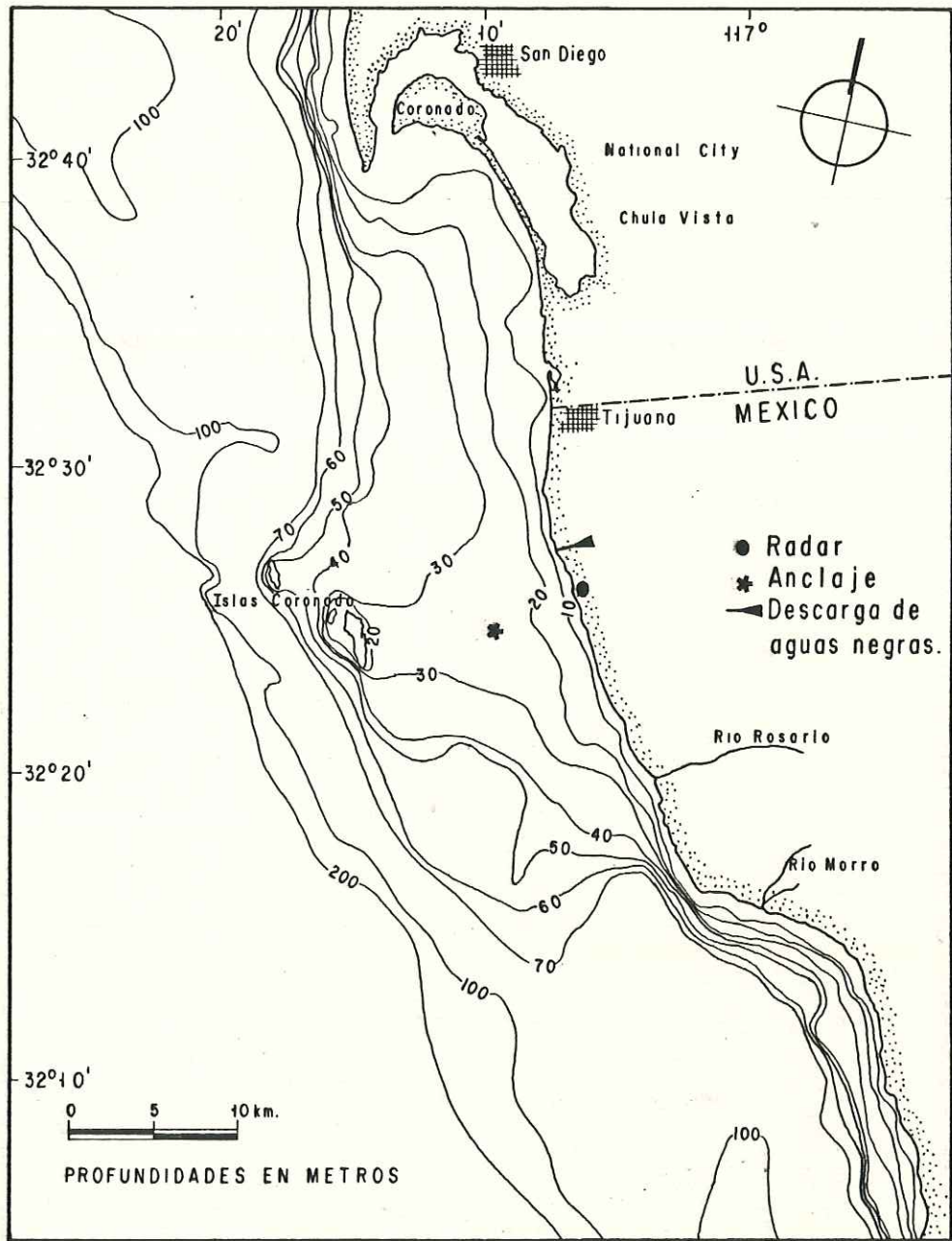


FIG. 1.- Area de estudio mostrando las posiciones del radar y del anclaje del corrientímetro.

circulación en la zona de estudio, en base a lances de botellas de deriva o tarjetas de deriva. Dicha información se recabó sobre regiones de 50x50 km y los datos no permiten establecer el campo de corriente a escalas menores. Gaul y Stewart (1960), hacen un estudio frente a San Diego, California, usando flotadores libres, e indican que la variación de poco período (3 - 3.5 hr) en los movimientos del agua con profundidades del fondo mayores a los 10 o 15 metros, es principalmente debido a el viento, mientras que a menores profundidades fueron inducidas principalmente por la marea.

Tsuchiya (1979), haciendo uso de geostrofia, encontró flujo para la superficie del mar a lo largo de las costas de California y Baja California, en relación a los 500 db, con dirección S - SE durante marzo (1975,1976), junio (1976) y abril (1977) y hacia N - NW en septiembre (1974,1975), diciembre (1975) y octubre de 1976. Encontró que en promedio las velocidades geostroficas en la zona son relativamente pequeñas con velocidades máximas aproximadas de 10 cms^{-1} . La velocidad estimada a partir de tarjetas de deriva superficial y de topografía dinámica por Wooster y Reid (1963) es en promedio menor a 25 cms^{-1} .

Uno de los pocos estudios dentro de la franja costera fue el que realizaron Winant y colaboradores, en el cual contaron con 3 anclajes de corrientímetros en profundidades del fondo de

15, 30 y 60 metros, dispuestos frente a la ciudad de Del Mar, California, durante 4 periodos comprendidos entre 1978 y 1979.

Winant y Bratkovich (1981) reportan los resultados de temperatura y corrientes horizontales y concluyen que en promedio, las corrientes a lo largo de la costa para la superficie, son hacia el sur durante todas las estaciones del año, con una magnitud menor a los 10 cms^{-1} . Durante primavera y verano, la estratificación está acompañada por efecto de corte en la estructura vertical de esas corrientes promedio, esto es, con corrientes superficiales hacia el sur, pero aguas más frías y profundas fluyendo en la dirección opuesta (fig. 2).

Lentz (1984) utilizando los registros de corrientes de otoño e invierno, junto con el esfuerzo del viento, gradientes del nivel del mar ajustados (suma de presión atmosférica y nivel del mar) y el esfuerzo en el fondo investigó la aplicabilidad de una ecuación simplificada de momentum, promediada en la vertical, aplicada a lo largo de la costa para determinar las características de los movimientos subinerciales (periodo $> 36 \text{ hr}$). Encontró que cerca de la costa ($\approx 3 \text{ km}$) este movimiento es debido a el esfuerzo del viento, mientras lejos de ella, se debe a los gradientes de presión. En ambos casos las fuerzas generadoras del movimiento están balanceadas por el esfuerzo en el fondo.

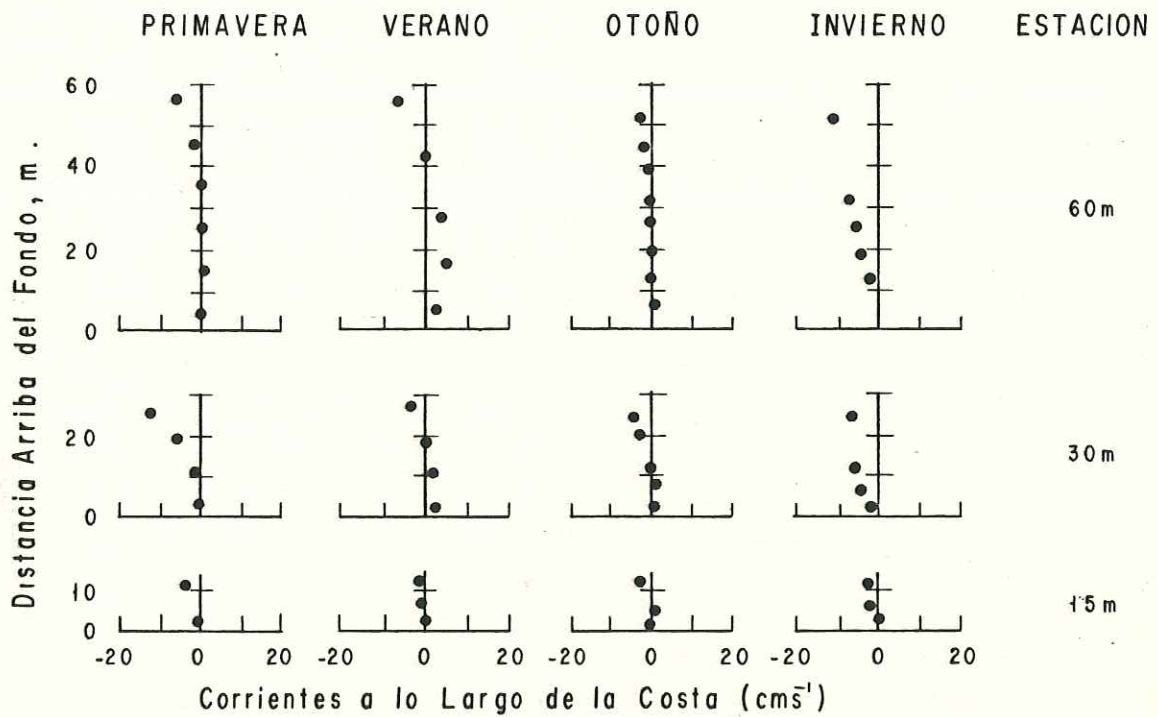


FIG.2.- Perfiles verticales de corrientes promedio a lo largo de la costa frente a Del mar, California (Tomado de Winant y Bratkovich, 1981)

Chin y Roberts (1985) usaron, junto con los datos de los corrientímetros, un modelo de dispersión en aguas costeras prediciendo la distribución de concentraciones resultantes de una fuente puntual o continua, durante periodos de fuerte y débil estratificación. Comparan sus resultados con la solución teórica de la ecuación de difusión para el caso de la fuente continua y con mediciones realizadas para el caso puntual. Sin embargo no presentan valores de los coeficientes utilizados.

El Southern California Coastal Water Research Project (SCCWRP, 1973) usó un modelo bidimensional de dispersión a gran escala, con el objetivo de predecir la dispersión y transporte de materiales introducidos dentro del Southern California Bight. Los cálculos del modelo indican tiempos de residencia típicos de 3 a 4 meses para la región entre Punta Concepción y la frontera con México y desde la línea de costa a 110 o 130 km alejado de ella. Comparando los tiempos de residencia para varias velocidades de corrientes encuentran que los procesos combinados de advección y difusión turbulenta son cerca de 5 veces más eficientes en diluir las aguas negras que únicamente un proceso de difusión turbulenta.

3.- TEORIA DE DISPERSION EN AGUAS SOMERAS.

3.1.- Definiciones.

Considerando difusión turbulenta de una propiedad conservativa (escalar) en un flujo tridimensional sin fuentes ni sumideros, y tomando la densidad del fluido constante, se puede mostrar que la ecuación de advección - difusión, referente a un sistema coordenado Cartesiano es:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{v}_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v}_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{v}_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \\ + \frac{\partial (\overline{c'v'_x})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{c'v'_y})}{\partial y} + \frac{\partial (\overline{c'v'_z})}{\partial z} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

donde c es la concentración de la propiedad conservativa, v es la componente de velocidad en la dirección que indica el subíndice, las barras denotan promedios y las primas significan la fluctuación alrededor del promedio.

Para resolver la ecuación (1) se requiere información sobre los términos de transferencia turbulenta $(\overline{c'v'_x}, \overline{c'v'_y}, \overline{c'v'_z})$. Desafortunadamente todavía no hay una técnica experimental satisfactoria para medir dichas cantidades de una manera rutinaria, por lo que es usual referirlas a los gradientes de concentración promedio. Esto requiere la introducción de una serie de coeficientes conocidos generalmente como coeficientes de difusividad ó de difusión turbulenta (K_x, K_y, K_z) .

$$\begin{aligned}\overline{c'v_x} &= -K_x \partial \bar{c} / \partial x \\ \overline{c'v_y} &= -K_y \partial \bar{c} / \partial y \\ \overline{c'v_z} &= -K_z \partial \bar{c} / \partial z\end{aligned}$$

la ecuación (1) puede escribirse:

$$\begin{aligned}\partial \bar{c} / \partial t + \bar{v}_x \partial \bar{c} / \partial x + \bar{v}_y \partial \bar{c} / \partial y + \bar{v}_z \partial \bar{c} / \partial z = \\ K_x \partial^2 \bar{c} / \partial x^2 + K_y \partial^2 \bar{c} / \partial y^2 + K_z \partial^2 \bar{c} / \partial z^2\end{aligned}\quad (2)$$

La ecuación (2) establece que la razón de cambio local de la propiedad conservativa es igual a la difusión turbulenta menos la advección a que está sujeta.

El proceso de difusión, al igual que el de dispersión, se refiere a la separación de partículas que inicialmente se encontraban cerca de un mismo punto, pero la diferencia radica en el grado de azar del movimiento con que se separan.

El término 'difusión' generalmente es aplicado al proceso en el cual el movimiento de las partículas es totalmente al azar. El término 'dispersión' también involucra una separación de partículas al azar, pero con la ayuda de algún otro mecanismo. Batchelor (1964) menciona que el movimiento de cada partícula en un flujo uniforme es una función al azar. Sin embargo, en el flujo, el principal mecanismo de separación de

partículas es la variación de la velocidad, estacionaria, en la sección transversal (dispersión). El mecanismo de dispersión debido a la variación de la velocidad con la profundidad combinada con difusión vertical se le conoce como efecto de corte. Bowden (1965) extendió este concepto, y concluyó que, un perfil de velocidad en cualquier dirección combinado con difusión en esa misma dirección da origen al efecto de corte. Así en estuarios y regiones costeras, donde es común encontrar flujos con efecto de corte, la dispersión puede asociarse a corrientes de marea, corrientes por viento o corrientes de densidad. El coeficiente que representa la interacción del transporte turbulento y el efecto de corte es llamado coeficiente de dispersión (Fischer, 1966).

Taylor (1953,1954) analizó la dispersión de materia usando un perfil de velocidad para la corriente; trabajando con flujos laminares y turbulentos en un tubo. Concluyó que el proceso de dispersión se puede describir, después de un tiempo asintóticamente grande, por la ecuación de Fick (K constante). El resultado para el coeficiente de dispersión es:

$$D = 10.1au_*$$

donde la cantidad $u_* = (\tau_0/\rho)^{\frac{1}{2}}$ es conocida como 'velocidad cizallante', y donde τ_0 es el esfuerzo en el fondo, ρ es la densidad y 'a' es el radio del tubo. Holley y Harleman (1965)

para aplicarlo a estuarios remplazan arbitrariamente el radio del tubo por el radio hidráulico $R = a/2$ obteniendo:

$$D = 20.2Ru_*$$

Posteriormente Elder (1959) usa un flujo en un plano inclinado de ancho infinito con el perfil vertical de velocidad en forma logarítmica encontrando que el coeficiente de dispersión longitudinal es:

$$D = 5.93hu_*$$

Bowden (1965) demuestra que el coeficiente de dispersión puede expresarse en términos del perfil vertical de velocidad y funciones derivadas de éste, con la característica notable que es inversamente proporcional a K_z :

$$D = 1.25 \times 10^{-2} (u^2 h^2 / K_z)$$

Okubo y Carter (1966) trabajando un perfil vertical lineal para la velocidad encuentran una relación entre el coeficiente de dispersión y el coeficiente de difusión turbulento vertical:

$$D = u^2 h^2 / 20 K_z$$

después de encontrar el tiempo que le llevaría al sistema alcanzar la homogeneidad vertical de una sustancia que ha sido introducida al sistema. Para esto, hacen uso de la ecuación de difusión en dirección vertical:

$$\partial c / \partial t = K_z \partial^2 c / \partial z^2$$

en la región $0 < z < h$. La solución, por variables separables,

$$c = \exp(-n^2 \pi^2 t K_z / h^2) \cos(n\pi z / h) \quad n=1,2,3,\dots$$

ahora, el tiempo necesario para que la variación vertical de c , representada por la ecuación anterior, disminuya por un factor $\exp(-1)$, de su valor inicial es:

$$t_v = h^2 / \pi^2 K_z$$

a este tiempo (t_v) se le conoce como el tiempo de mezclado vertical. Así mismo se puede definir el tiempo de mezclado horizontal (t_b):

$$t_b = b^2 / \pi^2 K_x$$

donde b representa la distancia entre las dos fronteras.

Soluci3n en 1 Dimensi3n.

El problema de difusi3n unidimensional de una fuente instant3nea de cantidad unitaria en $x = 0$, $t = 0$ y K_x constante.

$$\partial \bar{c} / \partial t = K_x \partial^2 \bar{c} / \partial x^2 \quad (3)$$

La soluci3n a 3sta ecuaci3n simplificada de difusi3n, se le llama soluci3n Fickiana. La soluci3n general es:

$$c = A t^{-\frac{1}{2}} \exp(-x^2 / 4K_x t)$$

Donde A es una constante de integraci3n. Una soluci3n particular se puede encontrar con las siguientes condiciones iniciales $c \rightarrow 0$, $t \rightarrow 0$ en $x \neq 0$, $c \rightarrow \infty$, $t \rightarrow 0$ en $x = 0$; de tal manera que la integral sobre el eje x

$$\int_{-\infty}^{\infty} c dx = 1 = \int_{-\infty}^{\infty} A t^{-\frac{1}{2}} \exp(-x^2 / 4K_x t) dx = 2A(\pi K_x)^{\frac{1}{2}}$$

es finita para toda t , y la soluci3n final es:

$$c = (4\pi K_x t)^{-\frac{1}{2}} \exp(-x^2 / 4K_x t) \quad (4)$$

Por la simetría de (4) alrededor del eje x , vemos que el valor medio de las distancias alrededor de la distribución central es cero, $\bar{x} = 0$. Sin embargo, estamos interesados en la varianza de la distribución, γ^2 , la cual de (4) está dada por:

$$\gamma^2 = 2K_x t \quad (5)$$

notemos que γ^2 es directamente proporcional al tiempo t y también al coeficiente de difusión turbulento K_x .

Soluciones en 2 Dimensiones.

La ecuación (2) es de uso común en problemas de difusión, para la cual se conocen varias soluciones particulares y métodos de solución (Carslaw y Jaeger, 1959). Su aplicación en el océano, es más de entendimiento del problema que la solución de la ecuación misma o sus versiones simplificadas. Algunos autores (Joseph y Sender (1958); Pritchard y Okubo (1960); etc.) han atacado el problema de difusión horizontal suponiendo que una sustancia introducida está sujeta al movimiento horizontal al azar del agua dentro de una capa homogénea tal que todas las variaciones verticales en la concentración pueden ignorarse. Así la dispersión de la sustancia tiene simetría radial. La solución a la ecuación (2), en su forma normalizada y con la simplificación anterior,

para una fuente puntual, instantánea, localizada en $r = 0$, $t = 0$ y con un marco de referencia móvil es:

$$c = (1/4\pi Kt) \exp(-r^2/4Kt) \quad (6)$$

en la cual r es la distancia radial.

La solución (6) supone que la difusión obedece la ley de Fick (K es constante). Stommel (1949) mostró que la difusión en el océano no obedece la ley de Fick, sino que la difusión se incrementa con el tamaño de la mancha o con el tiempo después de la liberación. Sin embargo, dentro de una escala limitada, tomando K constante observó que pueden obtenerse resultados razonables.

La solución normalizada de Pritchard - Okubo añade el incremento de la difusión con el tiempo:

$$c = (1/w_0 \pi t^2) \exp(-r^2/w_0^2 t^2)$$

w_0 es llamada 'velocidad de difusión', con valor constante del orden de 1 cms^{-1} (Pritchard y Okubo, 1960).

Una limitación de las soluciones radiales es la no homogeneidad de las velocidades en el océano, especialmente cerca de las fronteras sólidas. Esto causa que las manchas de

contaminantes tiendan a tomar formas elípticas.

3.2.- Técnica del movimiento al azar.

Además de las soluciones analíticas al problema de difusión, se ha utilizado modelación numérica desde hace varias décadas. Con el avance de las computadoras electrónicas se han producidos una buena cantidad de modelos acoplados hidrodinámicos - difusivos cada vez más sofisticados. Una de las técnicas usadas para simular la difusión de contaminates es la de 'movimiento al azar' o 'caminata aleatoria'.

En la técnica del movimiento al azar, la cual se esquematiza a continuación, la mancha de contaminante se representa por un número elevado de partículas cuya posición inicial se conoce, siendo liberadas en un tiempo t_0 y seguidas hasta un tiempo t_1 . La concentración para ese tiempo se calcula entonces a partir de la distribución de las partículas (fig. 3).

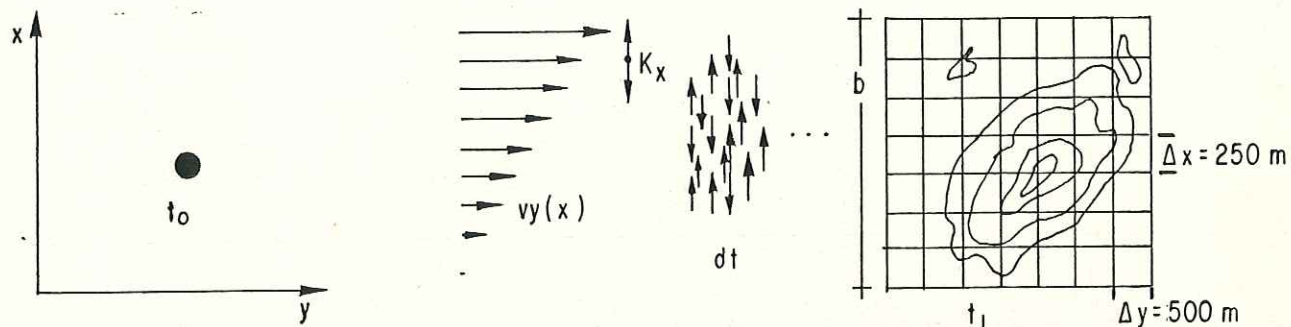


Fig. 3.- Movimiento aleatorio de las partículas en el flujo.

Cada partícula se mueve independiente de las otras en una serie de brincos. En cada posición, la partícula está sujeta a una componente de velocidad de advección $v_y(x)$ y a una componente de velocidad $\pm v_x(x)$ al azar que es determinada mediante una rutina generadora de números aleatorios.

El desplazamiento resultante en cada intervalo de tiempo δt tiene las componentes:

$$\delta y = L / ((x_2 - x_1) (v_x)) \int_{x_1}^{x_2} v_y(x) dx$$

$$\delta x = \pm L v_x / v_x = \pm L$$

L y v_x representan las fluctuaciones turbulentas en las posiciones instantáneas de las partículas (Allen, 1982).

La distribución rectangular de números generados al azar para determinar las posiciones transversales de las partículas tienen promedio igual a cero y desviación estandar igual a la escala de longitud asociada al coeficiente de difusión transversal K_x ($L = (2K_x \delta t)^{\frac{1}{2}}$) (Chin y Roberts, 1984). Si suponemos que la partícula se mueve en una dimensión con brincos de longitud $\pm L$ en intervalos δt , al tiempo t_1 habrán dado $n = t_1 / \delta t$ brincos y las partículas se encontrarán entre $x = \pm nL$ con una probabilidad de estar en $x = \pm (2j - n)L$ dada por la distribución binomial:

$$P(j) = 1/2 n!/(n-j)!j!$$

con promedio $\bar{x} = 0$ y varianza:

$$\gamma^2 = nL^2 = t_1 L^2 / \delta t$$

Por la ecuación (5), la relación entre K_x y L es:

$$K_x = \gamma^2 / 2t_1 = L^2 / 2\delta t$$

El procedimiento del movimiento al azar se repite hasta el tiempo t_1 elegido, y la salida de la simulación es un arreglo de valores $x_i(t_1)$, $y_i(t_1)$, $i = 1, 2, \dots, N$, donde N es el número total de partículas (1000). La región $x_{\min} < x < x_{\max}$, $y_{\min} < y < y_{\max}$, puede entonces subdividirse en una malla, calcular el número de partículas por elemento de esa malla, y así obtener la distribución $c(x, y, t_1)$.

3.3.- Modelo de dispersión.

Como una primera aproximación a la predicción de dispersión cerca de la costa consideramos el flujo bidimensional representado en la fig. 3. El perfil lateral se representa analíticamente. El valor de K_x se calcula a partir de la dispersión de los grupos de boyas de deriva y se

considera constante en espacio y tiempo. Se supone fondo plano y homogeneidad vertical de la materia que está siendo dispersada.

Como el flujo es principalmente en dirección 'y', y considerando difusión transversal únicamente ya que suponemos que la advección longitudinal es más importante que la difusión en esa dirección, la ecuación (2) se simplifica a:

$$\partial c / \partial t + v_y \partial c / \partial y = K_x \partial^2 c / \partial x^2$$

La velocidad de advección, $v_y(x)$, es la velocidad residual (independiente del tiempo), más una velocidad de marea. Ambas velocidades varían linealmente desde cero en la frontera sólida. Usando un sistema de referencia móvil tal que los ejes coordenados 'x', 'y' sean perpendiculares y paralelos a la costa respectivamente, la velocidad $v_y(x)$, se puede definir por:

$$v_y(x) = v_r + v_t \cos(\omega t)$$

donde v_r es la corriente residual presentando el perfil lineal $(v_{r0} + (x - x_0)v_{r0}/x_0)$ siendo v_{r0} la advección promedio medida a x_0 metros de la costa; v_t es la corriente de marea con el perfil lineal $(v_{m0} + (x - x_0)v_{m0}/x_0)$ siendo v_{m0} la amplitud de la

corriente de marea a la distancia x_0 de la costa; y ω es la frecuencia angular de la marea (0.083 ciclos/día).

El programa puede ser utilizado para ejemplificar los procesos de difusión con efecto de corte desde un punto de vista vertical o lateral para una liberación inicial (puntual) entre las dos fronteras.

Se considera que no existe pérdida de material en las fronteras y las partículas que lleguen a ellas serán reflejadas dentro del flujo. En este caso, tomando el punto de vista lateral, la dispersión de partículas se puede seguir hasta que alcancen el límite de la frontera exterior (5000 m).

Los resultados, obtenidos cada seis horas, son la posición promedio y desviación estándar (en dirección transversal y longitudinal) del grupo de partículas y gráficas de la distribución del grupo de partículas y de la variación de la concentración. Los resultados son aplicables a la dispersión de una fuente instantánea puntual y única; sin embargo, se pueden utilizar para la dispersión de una fuente puntual continua, tomando a ésta como una superposición lineal de fuentes instantáneas.

4.-

OBTENCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

Los datos usados en este trabajo fueron tomados en dos campañas de mediciones realizadas en marzo y julio de 1985, con duración aproximada de 10 días cada una, en las cuales se hicieron mediciones de velocidad y dirección de corrientes y viento.

El equipo de medición de corrientes superficiales y a 10 metros de profundidad consistió básicamente de flotadores libres y de un radar FURUNO 1064 instalado en tierra, del tipo convencional de navegación con precisión de localización de ± 20 metros (Alvarez et al. 1982). Una vez que los flotadores libres (elementos de deriva) fueron puestos en el agua, sus posiciones fueron registradas tomando una fotografía de la pantalla del radar cada 15 minutos.

En laboratorio se procedió a la digitización de las fotos tomadas y los datos así obtenidos fueron procesados en el sistema PRIME 400 del CICESE, para obtener la posición del centroide, histogramas de las componentes de velocidad en dirección paralela (v_y) y perpendicular (v_x) a la costa y de rapidez y varianza total y por componentes del grupo de flotadores.

El número de flotadores libres varió entre 4 y 10 para los

superficiales mientras que los profundos (10 m) siempre fueron 3 a excepci3n del caso mostrado en la figura 5, donde fueron usados 7 flotadores libres.

Las posiciones de cada uno de los flotadores est3n referidas a un sistema de coordenadas fijos en un punto de la costa. Calculando las coordenadas del centroide del grupo es posible situar cada flotador con respecto a un sistema de coordenadas que viaja con la corriente y de esta manera estudiar el movimiento de los flotadores con respecto a una posici3n media e independiente de la corriente. Las nuevas coordenadas representan desviaciones con respecto al centroide y proporcionan informaci3n sobre la difusividad aparente debida a los gradientes de velocidad y a la turbulencia de escala menor a las dimensiones t3picas del grupo. Para mayor detalle ver Alvarez et al. (1982).

Adem3s se instal3 un corrient3metro marca Endeco 174 de registro digital en cinta magnetica, en la latitud $32^{\circ} 22.5'$ y longitud $117^{\circ} 9.5'$ a 15 metros de profundidad y a 7 metros sobre el fondo (fig 1). Se obtuvieron registros de velocidad y direcci3n de la corriente, temperatura y conductividad durante 9 d3as en julio (del 2 al 11 de julio) y 11 d3as durante septiembre (20 de septiembre a 1 de octubre). La precisi3n de los sensores del instrumento son: sensor de velocidad $\pm 1.0 \text{ cms}^{-1}$, direcci3n $\pm 1.4^{\circ}$, temperatura $\pm 0.098^{\circ} \text{ C}$ y conductividad

$\pm 0.098 \text{ mmohscm}^{-1}$.

Los registros de viento, hechos simultaneamente con las observaciones de corrientes, se obtuvieron con un anemógrafo marca Jtec modelo VA - 320 con precisión de $\pm 5^\circ$ en dirección y $\pm 0.25 \text{ ms}^{-1}$ en rapidez.

5.-

RESULTADOS.

En las figuras 4 a 7 se muestran las trayectorias del centroide del grupo de flotadores libres, y en la figura 8 un ejemplo de, (a) histogramas de las componentes de velocidad y de rapidez en clases de 5 cms^{-1} , y (b) gráficas de la varianza por componentes y total ($\times 10^4 \text{ m}^2$) contra tiempo (hr) para la liberación del día 22 de marzo de 1985. El tiempo inicial de las gráficas de varianza es el correspondiente a la liberación de las boyas. Los histogramas y gráficas de varianza para las restantes liberaciones se encuentran en el Apéndice A.

En la figura 4 se presentan los centroides de flotadores superficiales y en la figura 5 son flotadores a 10 metros de profundidad, liberados entre los días 22 - 25 de marzo de 1985.

En la figura 6 se presentan los centroides de flotadores superficiales y en la figura 7 son a 10 metros de profundidad liberadas en los días 4 - 9 de julio de 1985.

En las tablas 1 y 2 se muestra la velocidad promedio, perpendicular y a lo largo de la costa, para las distintas liberaciones de marzo y julio respectivamente observándose que durante marzo la velocidad a lo largo de la costa fue, para la superficie, de 25 cms^{-1} hacia el sur; mientras que durante julio la dirección del flujo en la superficie es al norte con

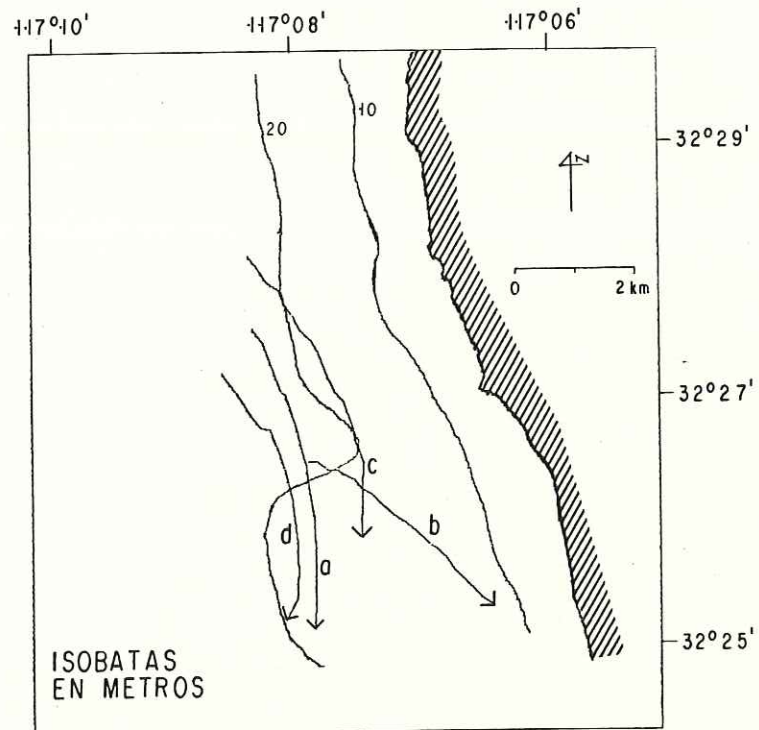


FIG.4.- Trayectoria del centroide de flotadores superficiales liberados en los días:

- a) 22 de marzo 1985.
- b) 23 de marzo 1985.
- c) 23 de marzo 1985.
- d) 24 de marzo 1985.

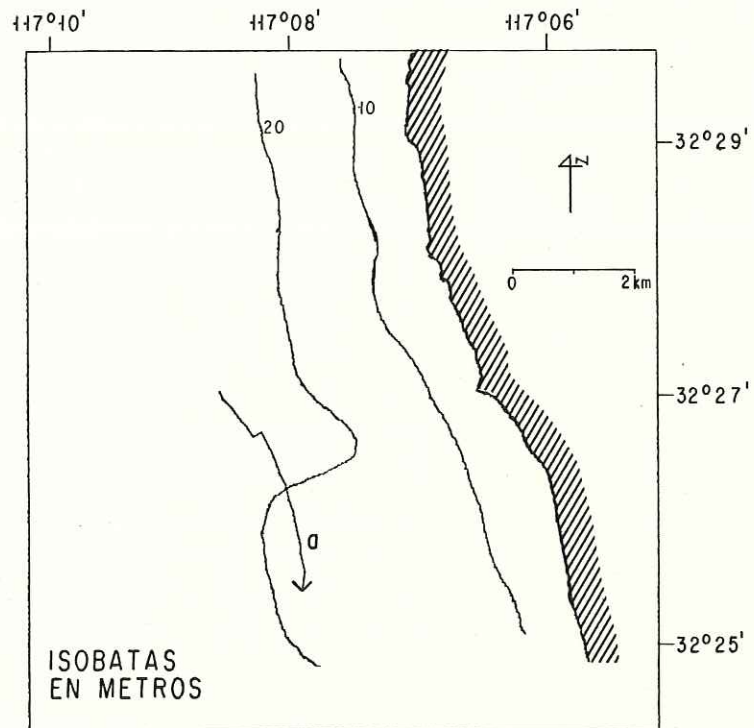


FIG. 5.- Trayectoria del centroide de flotadores a 10 metros de profundidad liberados el día 24 de marzo 1985.

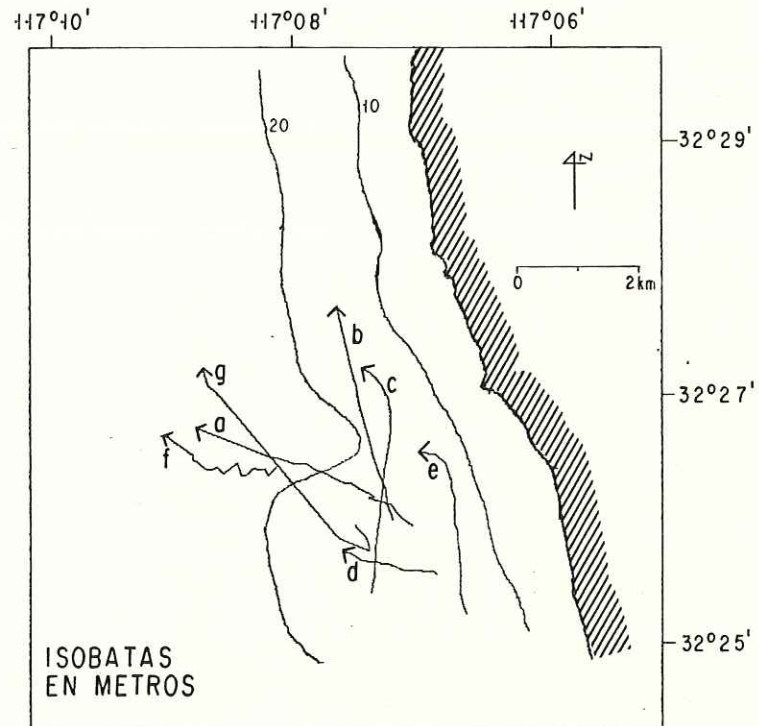


FIG.6.- Trayectoria del centroide de flotadores superficiales liberados los días:

- a) 4 de julio 1985.
- b) 5 de julio 1985.
- c) 5 de julio 1985.
- d) 6 de julio 1985.
- e) 6 de julio 1985.
- f) 7 de julio 1985.
- g) 9 de julio 1985.

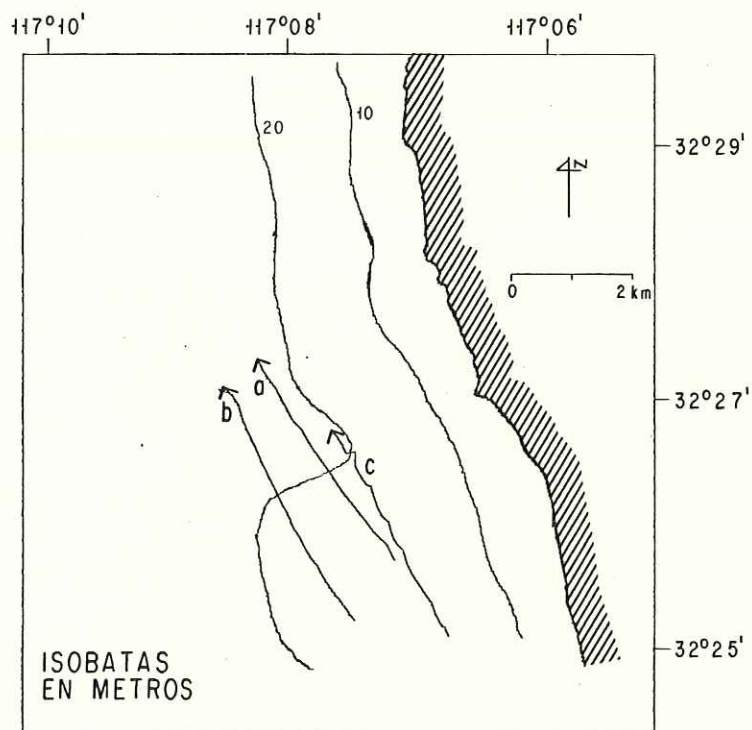


FIG.7.- Trayectorias del centroide de flotadores a 10 metros de profundidades liberados los días:

- a) 5 de julio 1985.
- b) 5 de julio 1985.
- c) 6 de julio 1985.

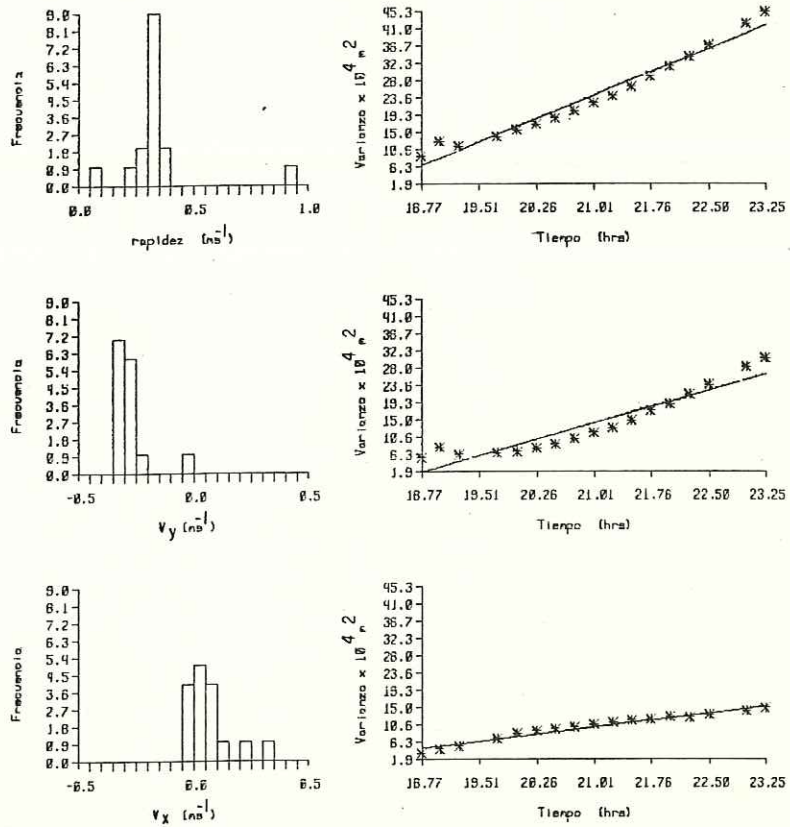


FIG. 8.- a) Histogramas de las componentes de velocidad y de rapidez, y b) Varianza por componentes y total del grupo de flotadores para la liberación del día 22 de marzo 1985.

intensidad promedio de 15 cms^{-1} . Para 10 metros de profundidad, la velocidad promedio fué de 20 cms^{-1} en ambos casos, y en la misma direccibn que las superficiales.

Las trayectorias de los centroides muestran una tendencia a orientarse en forma paralela a las isobatas y una leve tendencia a alejarse de la costa. Excepciones a este patrón son la trayectoria b de la figura 4, en que existe una fuerte componente perpendicular a la costa, y las liberaciones en que la intensidad del viento es débil (trayectorias d y f de la figura 7); en este caso se registraron velocidades bajas ($\approx 5 \text{ cms}^{-1}$) y el incremento en la varianza se mostró muy uniforme.

Los resultados obtenidos para los coeficientes de difusibn K_x y K_y a partir de la regresibn lineal y del incremento total en la varianza se presentan en las tablas 3 y 4 para marzo y julio respectivamente. Utilizando únicamente el resultado de la regresibn para las liberaciones en forma de mancha se obtienen los valores promedio de $K_x = 6.2 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ en marzo y $K_x = 2.7 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ en julio para la superficie del mar. En las trayectorias a 10 metros no se presenta un valor puesto que no tienen valores confiables para ello. El error estándar asociado a la varianza es menor al 3 % de la misma.

Los datos tomados por el corrientímetro cada dos minutos se promediaron cada 10 lecturas y se obtuvo estadística general

Tabla 1. Velocidades promedio perpendicular y a lo largo de la costa para el centroide de flotadores libres. Marzo de 1985.

Fecha	Tipo	v_x (cms ⁻¹)	v_y (cms ⁻¹)
Flotadores superficiales.			
22	mancha	5	-35
23	línea	20	-20
23	línea	10	-25
24	mancha	10	-25
Flotadores a 10 metros de profundidad.			
24	mancha	5	-20

Tabla 2. Velocidad promedio perpendicular y a lo largo de la costa para el centroide de flotadores libres. Julio de 1985.

Fecha	Tipo	v_x (cms ⁻¹)	v_y (cms ⁻¹)
Flotadores superficiales.			
4	línea	-20	10
5	línea	-10	35
5	mancha	5	15
6	mancha	-10	5
6	línea	-5	20
7	línea	-10	5
9	línea	5	5
Flotadores a 10 metros de profundidad.			
5	triangulo	-20	30
5	triangulo	-15	20
6	triangulo	-10	20

TABLA N° 3.- Coeficientes Kx y Ky obtenidos por el incremento total en la varianza y del ajuste de mínimos cuadrados.

MARZO 1985

FECHA	ΔT (hr)	Tipo	N°Boyas	$\frac{1}{2} \frac{\Delta \sigma_x^2}{\Delta t}$	$K_x (m^2s^{-1})$ reg	r ² %	$\frac{1}{2} \frac{\sigma_y^2}{\sigma t}$	$K_y (m^2s^{-1})$ reg	r ² %
22	4.48	mancha	10	3.56	6.59	95.75	7.72	15.20	89.39
23	5.25	linea	5	-9.30	-20.17	96.15	13.08	26.84	97.48
23	5.50	linea	4	-4.97	-10.99	97.93	-0.67	-1.73	38.39
24	6.00	mancha	8	3.44	5.85	68.04	14.01	27.59	94.82

Flotadores Superficiales

Flotadores a 10 metros de Profundidad

24	6.00	mancha	7	0.46	1.40	51.69	12.21	21.99	90.21
----	------	--------	---	------	------	-------	-------	-------	-------

TABLA N° 4.- Coeficientes Kx y Ky obtenidos por el incremento total en la varianza y del ajuste de mínimos cuadrados.

JULIO 1985

FECHA	ΔT(hr)	Tipo	N°Boyas	K _x (m ² s ⁻¹)		K _y (m ² s ⁻¹)		r ² %	
				$\frac{1}{2} \frac{\Delta C_x^2}{\Delta t}$	reg	$\frac{1}{2} \frac{C_y^2}{C_t}$	reg		
4	5.75	linea	8	41.46	70.95	82.11	4.26	9.21	41.82
5	3.25	linea	8	-2.27	-4.95	82.85	-6.26	-10.72	71.75
5	6.00	mancha	10	2.05	2.33	29.50	6.25	11.91	85.04
6	6.00	mancha	7	1.43	3.20	91.99	5.96	13.39	98.71
6	6.00	linea	7	3.64	9.21	46.44	11.14	23.70	92.71
7	6.00	linea	7	-1.44	-2.54	38.72	-3.73	-7.03	67.91
9	6.00	linea	7	5.48	12.59	90.82	4.79	8.49	15.39

Flotadores a 10 metros de Profundidad

5	3.50	Triangulo	3	0.93	0.98	3.89	-5.42	10.63	91.94
5	5.50	Triangulo	3	0.17	0.41	43.09	1.67	3.65	88.25
6	6.00	Triangulo	3	7.32	11.97	58.72	0.75	0.83	7.50

después de transformar a componentes a lo largo y transversal a la costa (v_y y v_x respectivamente) a partir de magnitud y azimut. El ángulo entre la línea de costa y el norte es aproximadamente 13° .

En las tablas 5 y 6 se presenta la información estadística de dichos registros de corrientes y en las figuras 9 y 10 se muestra las series de tiempo para los registros de julio y septiembre respectivamente, junto con la variación del nivel del mar (tomado para el puerto de Ensenada, B. C.) y de las componentes del viento en dirección perpendicular (v_{vx}) y paralela (v_{vy}) a la costa solo para el mes de julio, ya que no se tiene registro de viento en septiembre de 1985. El registro de salinidad, obtenido a partir de temperatura y conductividad, no está calibrado. En las gráficas anteriores, aunque se aprecia una señal de marea en las corrientes a lo largo de la costa, no se pudo hacer un análisis armónico debido a lo corto de los registros.

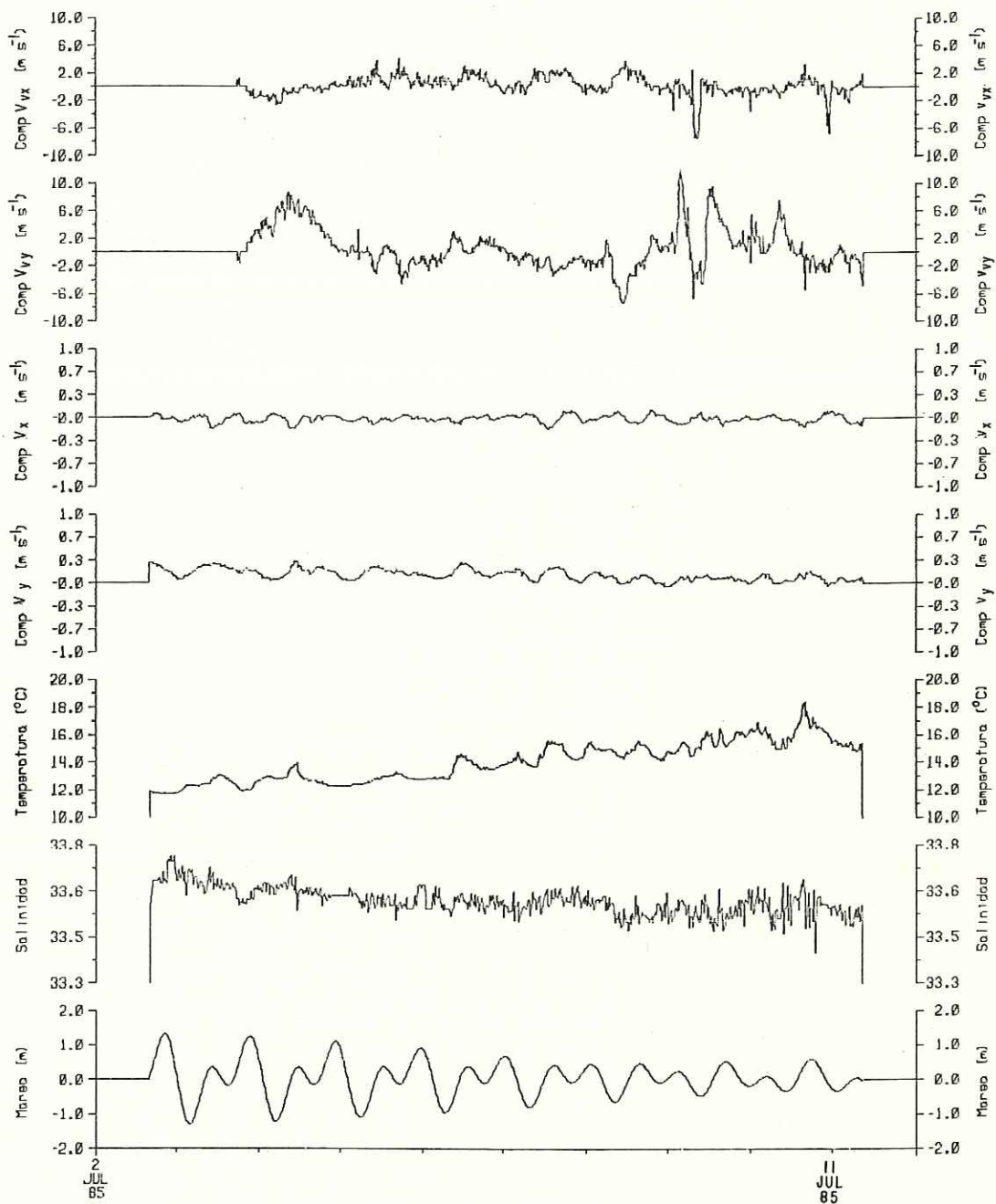


FIG. 9.- Serie de tiempo del registro del corrientímetro y de viento durante julio de 1985.

Tabla 5. Estadística general del registro de corrientes para el mes de julio de 1985. Velocidades en cms^{-1} .

Dirección perpendicular a la costa.	
máximo	14.967
mínimo	-23.607
promedio	-0.678
Varianza	30.909
Desviación estandar	5.559
Dirección a lo largo de la costa.	
máximo	36.945
mínimo	-9.740
promedio	12.771
varianza	60.463
desviación estandar	7.775
Temperatura.	
máximo	19.805
mínimo	11.699
promedio	14.037
varianza	2.150
desviación estandar	1.466

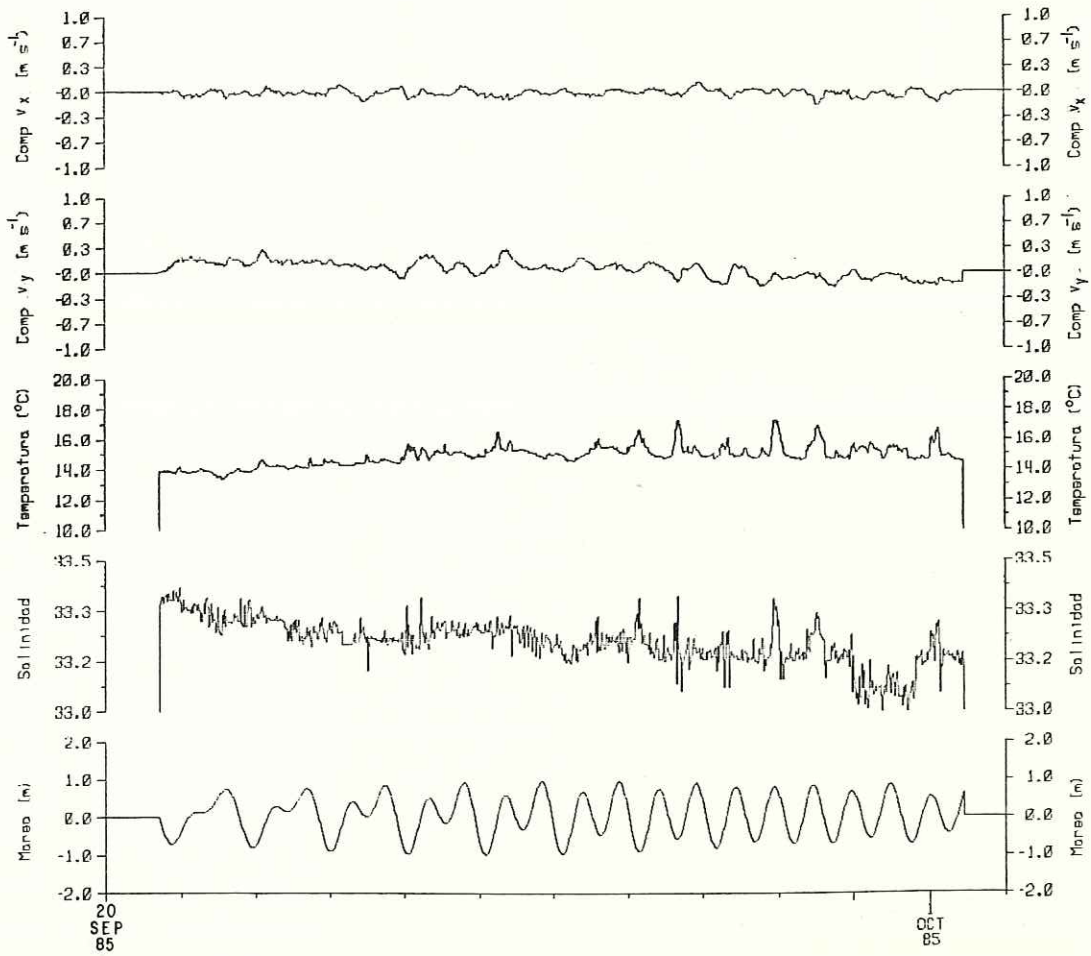


FIG.10.-Serie de tiempo del registro del corrientímetro durante septiembre 1985.

Tabla 6. Estadística general del registro de corrientes para el mes de septiembre de 1985. Velocidades en cms^{-1} .

Dirección perpendicular a la costa.	
máximo	15.482
mínimo	-18.505
promedio	-0.177
Varianza	24.770
Desviación estandar	4.977
Dirección a lo largo de la costa.	
máximo	35.001
mínimo	-20.093
promedio	6.290
varianza	123.297
desviación estandar	11.104
Temperatura.	
máximo	17.754
mínimo	13.457
promedio	14.931
varianza	0.456
desviación estandar	0.675

6.-

DISCUSION.

Los cálculos de los coeficientes K_x y K_y que se presentan en las tablas 3 y 4 para marzo y julio respectivamente, se realizaron en base a un ajuste de mínimos cuadrados y también al incremento total de la varianza en el tiempo, sin embargo, el coeficiente perpendicular a la costa (K_x) utilizado en el modelo fué el obtenido mediante la regresión lineal. Cálculos semejantes realizaron Ichiye et al. (1981) para sus experimentos con 15 flotadores libres, en el Golfo de México, obteniendo que los coeficientes calculados a partir de la regresión lineal fueron menores a aquellos obtenidos por el incremento en la varianza, en nuestro caso fué lo contrario, como se puede observar en las tablas 3 y 4.

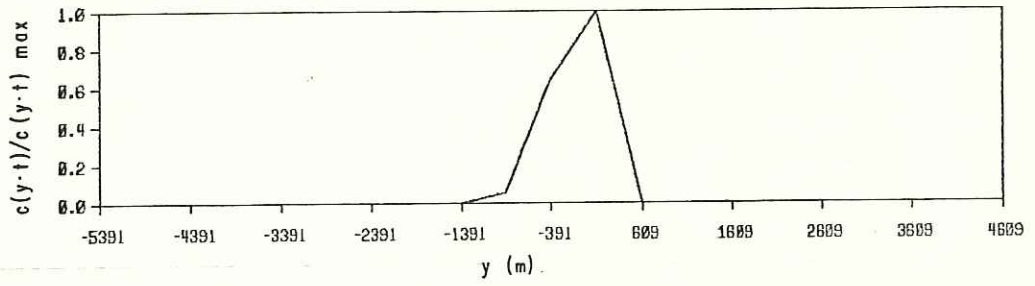
Por otro lado, Fischer (1966) menciona que la obtención de un coeficiente de dispersión mediante observaciones deben ser revisados con coeficientes predichos mediante una relación basada en teoría de difusión, en base a la diferencia de mínimos cuadrados, para obtener el coeficiente que concuerde lo más posible con las observaciones y las predicciones. En nuestro caso no se realizó dicha comparación.

Además añado que el objetivo práctico de la teoría de dispersión, es de carácter ingenieril, por conocer la distribución del contaminante en una determinada zona del flujo

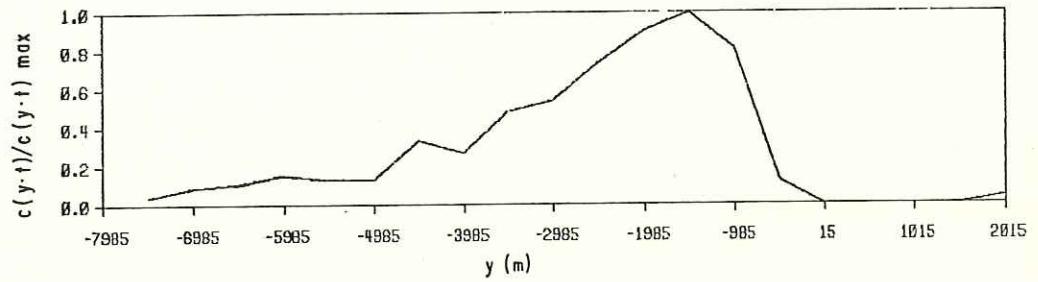
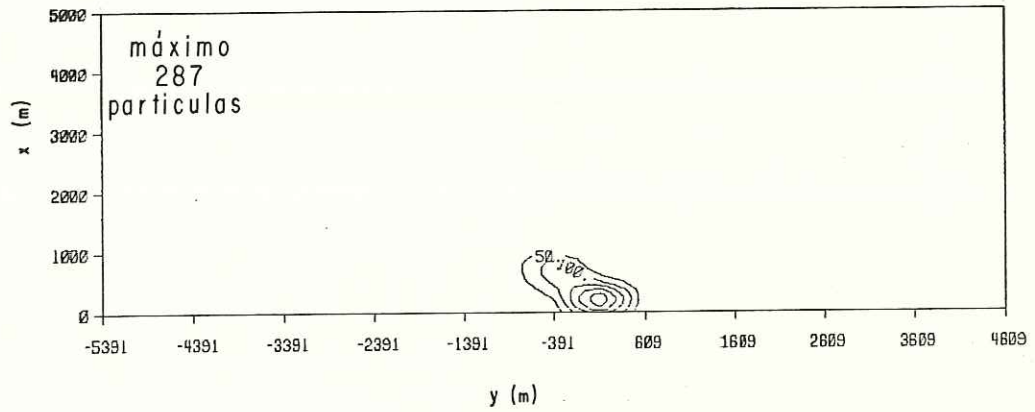
y predecir el patrón que tendrá una vez que ha sido transportado por dicho flujo, y en particular el conocer los tiempos en que la mancha llegará al lugar de interés, o el tiempo en que el máximo de la concentración cae a niveles no perjudiciales.

Ejemplos de la distribución de concentración $c(x,y,t_1)$ y del promedio de la sección transversal, para diferentes tiempos t_1 , 6 y 24 horas después de la liberación inicial, se presentan en las figuras 11 (a y b), utilizando los resultados obtenidos en marzo ($v_y = 25 \text{ cms}^{-1}$ y $K_x = 6.2 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$) y en las figuras 12(a y b) para julio con $v_y = 15 \text{ cms}^{-1}$ y $K_x = 2.7 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, en ambos casos se sobrepone una corriente oscilatoria de amplitud 10 cms^{-1} y periodo de 12.41 hr. Los contornos representan las líneas de igual número de partículas, o sea, milésimos de la concentración inicial.

Gráficas equivalentes presenta Allen (1982) para flujos estacionario y oscilatorio en un estuario, encontrando 3 fases en que ocurre la dispersión. Para tiempos cercanos a la liberación inicial (primera fase) (≈ 50 minutos), la distribución de concentración presenta un marcado sesgo de una curva Gaussiana. Conforme se incrementa el tiempo se empieza a ser menos sesgada, hasta alcanzar una distribución Gaussiana ($t > 12.41$ hr). Sin embargo Dewey y Sullivan (1977) con evidencia experimental sugieren que se requiere un tiempo



a)



b)

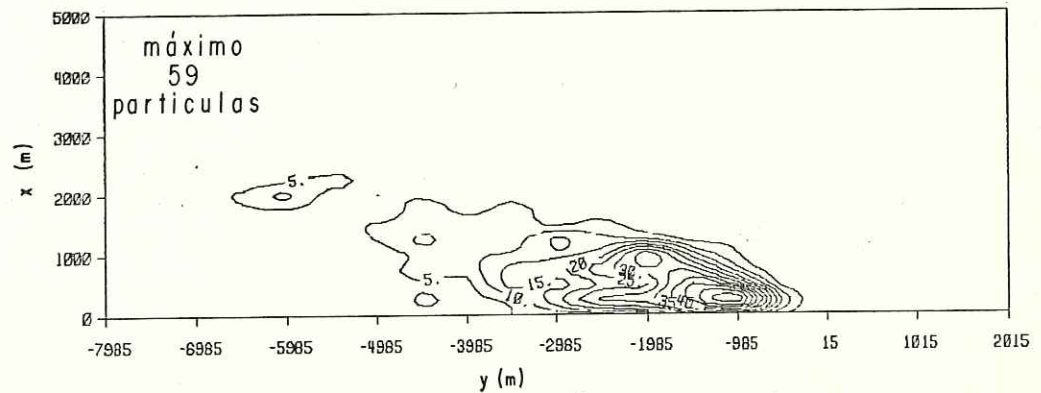


FIG. II - Simulación de la concentración en marzo, después de a) 6 horas y b) 24 horas de la liberación.

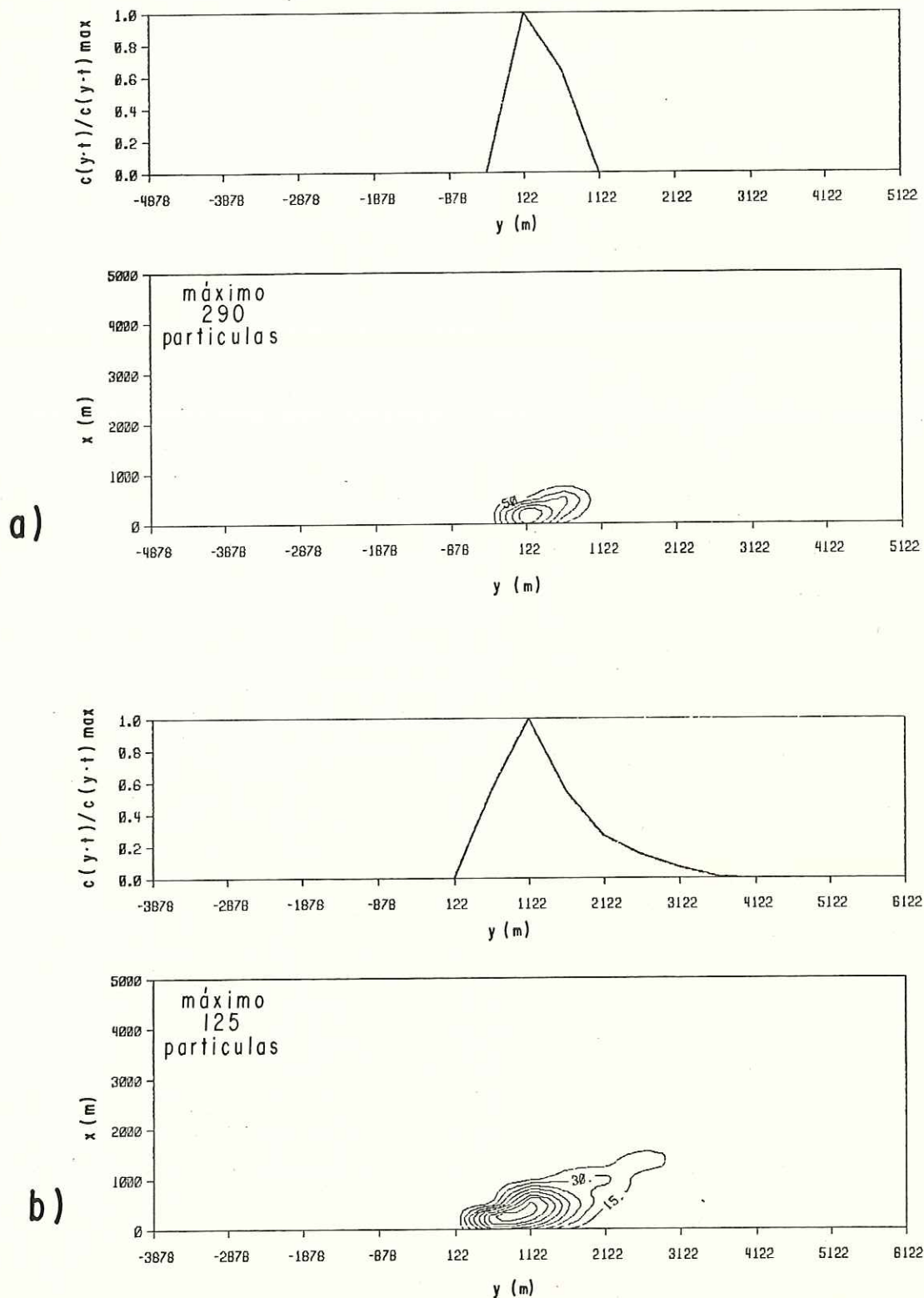


FIG.12.-Simulación de la concentración en julio, después de
 a) 6 horas y b) 24 horas de la liberación.

adimensional $t \approx 300$ ($t = tu_k/h$) antes de alcanzar una distribución Gaussiana. Para nuestros resultados ($u_k = 1.0 \text{ cms}^{-1}$, $h = 25 \text{ m}$) se requiere un tiempo de 166 horas para alcanzar la distribución Gaussiana, que es cuatro veces mayor que el resultado de Allen (1982).

Por otra parte las gráficas muestran un rápido crecimiento de la mancha en dirección transversal en las primeras horas después de la liberación (fig. 11a y 12a). Después la mancha empieza a alargarse, no tanto a alejarse de la costa. Esto es debido al perfil de velocidad. La elección de un perfil lineal de velocidad en dirección lateral, es una aproximación tomada por simplicidad y no debido a un análisis adecuado en las trayectorias de las boyas. Sin embargo, esta simplificación es adecuada para atacar el problema inicialmente.

Una cuestión importante es la forma que tendrá la mancha del contaminante cuando llegue a Rosarito o a Tijuana, B. C. que son las ciudades más cercanas al lugar de liberación (fig. 1); para esto se utilizaron los datos de marzo y julio, para simular la dispersión que tendría la mancha después del tiempo que le llevaría en recorrer la distancia hasta esas ciudades. Así las figuras 13 y 14 son 48 y 114 horas después de la liberación inicial, esto es, el centroide de la mancha viajaría a una velocidad promedio de 5 cms^{-1} y 3 cms^{-1} respectivamente para los casos en que viaje al sur (Rosarito)

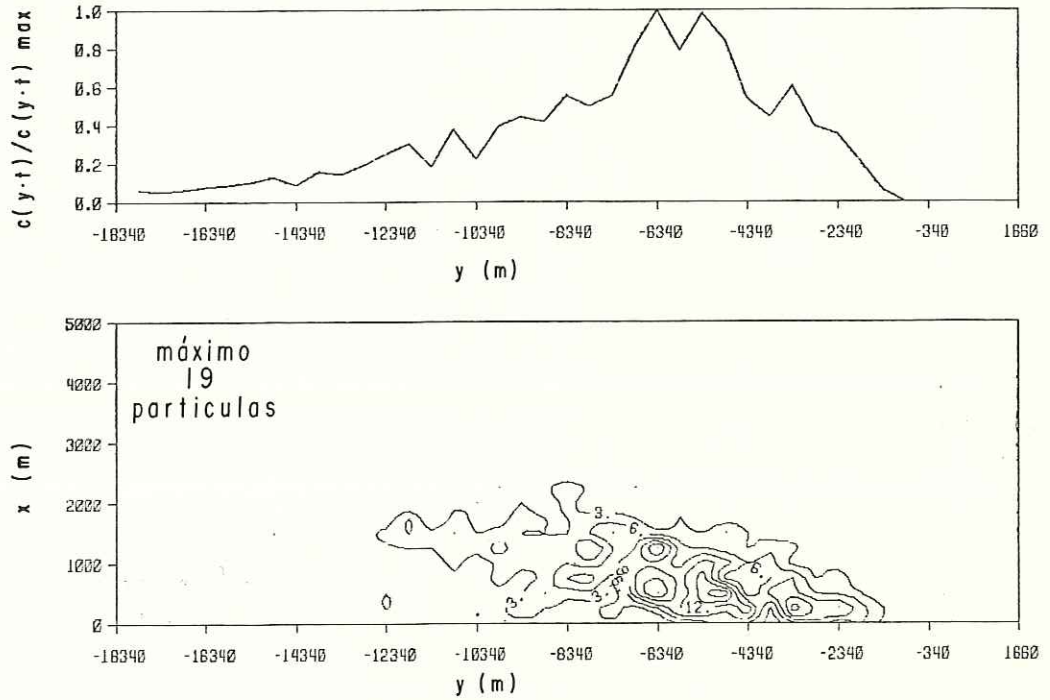


FIG. 13.- Idem. 11, 48 horas después de la liberación

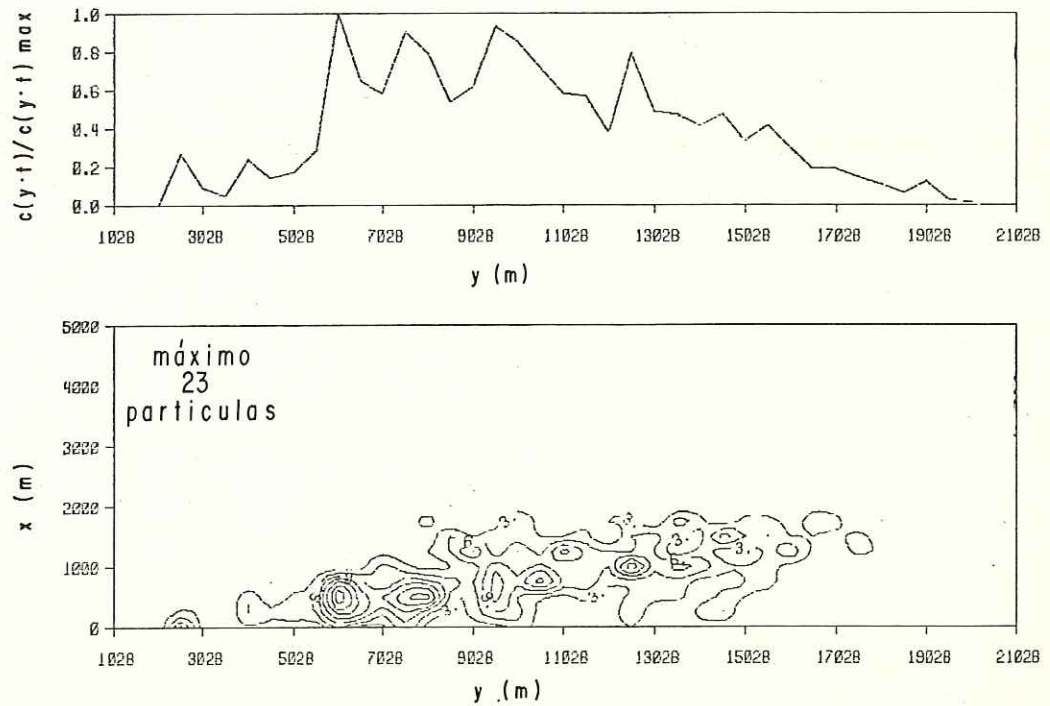


FIG. 14.- Idem. 12, 114 horas después de la liberación

en marzo ó cuando viaje al norte (Tijuana) en julio. Cuando la mancha llega a Rosarito, B. C., abarca ≈ 9 kilómetros de longitud, el máximo de la mancha se ha alejado ≈ 500 metros de la costa y el contorno del número máximo de partículas es 19. En el otro caso, cuando la mancha viaja al norte mide ≈ 12 kilómetros de longitud y el máximo a ≈ 300 metros de la costa es representado por 23 partículas.

Para las simulaciones hechas por el modelo, suponemos homogeneidad vertical del contaminante y también de la columna de agua, esto es, se supone que no existe una estratificación marcada. Aunque no tenemos datos acerca de las condiciones de estratificación, Winant et al. (1981) encuentran que en invierno la diferencia entre temperatura superficial y a 60 metros de profundidad es sólo 2.3°C para la zona frente a Del Mar, California. Mientras que en verano se pueden distinguir tres capas en la estructura vertical.

El modelo además de la simulación de dispersión, nos da información de la varianza de la mancha a lo largo de la costa, así en la figura 15 se presenta el incremento de la varianza en el tiempo para las simulaciones de marzo (a) y de julio (b). Un incremento lineal de la varianza en el tiempo, nos indica que el coeficiente de dispersión longitudinal es constante, sin embargo la varianza no presenta un incremento lineal, por lo que el coeficiente de dispersión longitudinal aumenta con el

tamaño de la mancha o el tiempo después de la liberación.

Al igual que lo realizado para las varianzas de los flotadores libres, se calculó una regresión lineal a las varianzas obtenidas por el modelo en una simulación durante 12 horas, partiendo del tamaño aproximado al que presentaban las manchas de flotadores superficiales al ser liberados ($\approx 1.0 \times 10^4 \text{ m}^2$), los valores obtenidos son $K_y = 8.7 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ en el caso de marzo y en julio, $K_y = 4.2 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Estos resultados, que son del mismo orden de magnitud que los coeficientes observados, sugieren que es válido el no haber tomado en cuenta la difusión a lo largo de la costa, debido a que la dispersión por el perfil de velocidad es mayor que la difusión a lo largo de la costa.

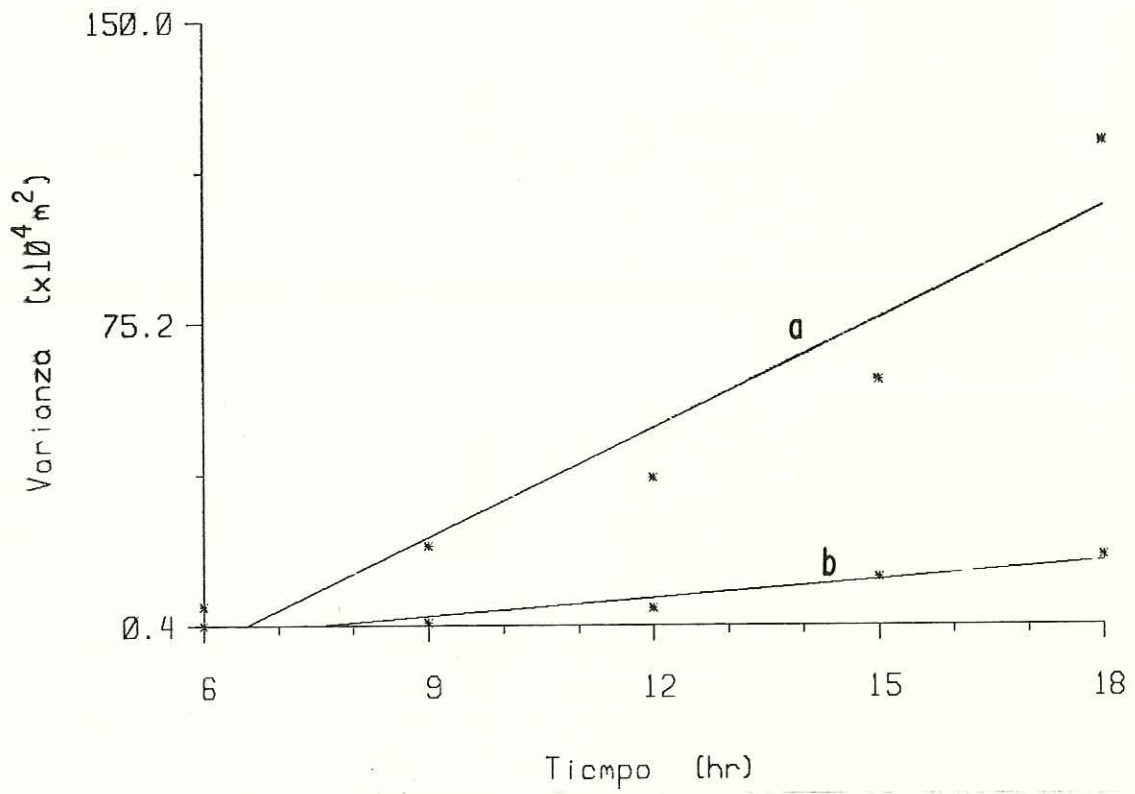


FIG. 15.- Incremento de la varianza en el tiempo para la simulación de marzo (a) y julio (b). Las líneas rectas son los ajustes de mínimos cuadrados.

7.-

CONCLUSIONES.

En este trabajo se presentaron resultados de observaciones directas acerca de la advección y difusión en la zona costera entre Tijuana y Rosarito B. C., donde hasta la fecha no se había hecho ningún estudio de este tipo. Específicamente, se midieron la velocidad de la corriente y el coeficiente de difusión lateral utilizando métodos Lagrangeanos. Los resultados, presentados con cierto detalle en las tablas 1,2,3 y 4 y en las figuras 4,5,6 y 7, se pueden resumir como sigue:

1.- La velocidad a lo largo de la costa medida a aproximadamente 3 km de ella, fue en promedio 25 cms^{-1} con máximos de 35 cms^{-1} hacia el sur durante marzo, mientras que en julio fue más débil, con dirección al norte y con intensidades promedio de 15 cms^{-1} y máximos de 35 cms^{-1} .

2.- El coeficiente de difusión perpendicular a la costa obtenido en marzo fue $6.2 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, que es aproximadamente dos veces mayor que el obtenido en julio, $2.7 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Los valores observados del coeficiente de dispersión a lo largo de la costa fueron $21.4 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ y $12.6 \times 10^4 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ en marzo y julio respectivamente.

Es claro de las observaciones que tanto la velocidad de la corriente como los coeficientes de difusión son variables, y

por lo tanto los valores promedio presentados aquí deben considerarse con cierta reserva hasta que se obtenga mayor información.

Además de los resultados observacionales, en este trabajo se implementó un modelo simplificado de advección - difusión, tanto para ilustrar un posible uso de las observaciones como por el interés mismo en la técnica del 'movimiento al azar' para modelar procesos de difusión en la zona costera. A pesar de las simplificaciones del modelo (por ejemplo, homogeneidad vertical y variación lineal de la corriente), predijo valores del coeficiente de dispersión a lo largo de la costa comparables con los observados ($8.7 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ en marzo y $4.2 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ en julio). Sin embargo su habilidad para predecir las concentraciones en la costa, y lejos de la fuente, no ha sido comprobada y es posible que sea necesario un modelo mucho más realista y, desde luego, más observaciones.

8.-

SUGERENCIAS.

Para obtener una buena descripción de la oceanografía de la zona aún hacen falta muchas observaciones. Entre los estudios más claramente necesarios están la estructura vertical y lateral de las corrientes y la hidrografía; su variabilidad a corto y largo plazo y las causas de esta variabilidad. Referente a difusión, es necesario medir la dispersión muy cerca a la costa pues es allí donde actualmente se localizan las descargas de origen urbano.

9.-

REFERENCIAS.

- Alvarez, L. G., M. Uyeji, R. Durazo. 1982. Observaciones de corrientes costeras superficiales mediante trazadores lagrangeanos. Informe Tecnico OC-82-83. CICESE. Ensenada, B. C. 64 pp.
- Allen, C. M. 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in estuary flows. Proceeding Royal Society of London A. 381: 179-194.
- Batchelor, G. K. 1964. Diffusion from sources in a turbulent boundary layers. Archiwum Mechaniki Stosowanej. 3:16. 661-670.
- Bowden, K. F., 1965. Horizontal mixing in the sea due to a shearing current. Journal of Fluid Mechanics. 21:2, 83-95.
- CalCOFI Atlas No. 16. State of California Marine Research Committee. June 1972.
- Carslaw, H. S. y J. C. Jaeger. 1959. Conduction of Heat in Solids. Oxford, Clarendon Press. 2da. Ediccion.
- Chin, D. A. y P. J. W. Roberts. 1985. Model of dispersion in coastal waters. Journal of Hydraulic Engineering. 111(1): 12-28.
- Dewey, R., P. J. Sullivan. 1977. The asymptotic stage of longitudinal dispersion within a tube. Journal of Fluid Mechanics. 80, 293-303.
- Elder, J. W. 1959. The dispersion of masked fluid in turbulent shear flows. Journal of Fluid Mechanics 5(4): 554-560.
- Fischer, H. 1966. A note on the one-dimensional dispersion model. Air and Water Pollution International Journal. 10: 443-452.

- Gaul, R. D., y B. Stewar, Jr. 1960. Nearshore ocean current off San Diego, California. Journal of Geophysical Research. 65(5): 1543-1556.
- Holley, E. R. y D. R. F. Harleman. 1965. Dispersion of pollutants in estuary type flows. Mass. Institute Technology, Hydrodynamic Laboratory Report No. 74 202 pp.
- Hunter, J. R. 1980. The use of particle tracking techniques in physical oceanography. Summarized in: Linden, P. F. y Simpson, J. H. - 1981. Physical Oceanography of the European Shelf Seas: a report on the Geophysical Fluid Mechanics Symposium of the E. G. S. (1980). Geophysics Astrophysics Fluid Dynamics 17, 319 - 329.
- Ichiye, T., M. Inoue, y M. Carnes. 1981. Horizontal diffusion in ocean dumping experiments. Marine Science. 12, 131 - 159.
- Joshep, J. y H. Sender. 1958. Uber die horizontale diffusion im Meere. Dt Hydrogr. Z. 11: 49-77.
- Lentz, S. J., 1984. Subinertial motions on the Southern California Continental Shelf. Tesis de doctorado en Ciencias. Universidad de California. San Diego. 145 pp.
- Okubo, A. y H. H. Carter. 1966. An extremely simplified model of the shear effect on horizontal mixing in a bounded sea. Journal of Geophysical Research 71(22): 5267-5270.
- Pritchard, D. W. y A. Okubo. 1960. The application of existing oceanographic knowledge to the problem of radioactive waste disposal into the sea. Disposal of Radioactive Wastes. 2: 229-248. Int. Atomic Energy Agency. Vienna.
- Saffman, P. G. 1962. The effect of wind shear on horizontal spread from an instantaneous ground source. Quart. Journal Royal Meteorology Society. 88:

382-393.

S.C.C.W.R.P. 1973. The Ecology of the Southern California Bight: Implication for water quality management. U. S. Department of Commerce. National Technical Information Service PB-274467.

Stommel, H. 1949. Horizontal diffusion due to oceanic turbulence. Journal Marine Research. 8: 199-225.

Sullivan, P. J. 1971. Longitudinal dispersion within a two-dimensional turbulent shear flow. Journal of Fluid Mechanics. 49: 551-576.

Taylor, G. I. 1953. Dispersion of soluble matter in solvent flowing slowly through a tube. Proceeding Royal Society of London. A. 219: 186-203.

Taylor, G. I. 1954. The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. Proceeding Royal Society of London, Ser A. 223: 446-468.

Thompson, R. 1971. Numerical calculation of turbulent diffusion. Quar. J. R. Met. Soc. 97: 93-98.

Tsuchiya, M. 1979. Inshore circulation in the Southern California Bight, 1974-1977. Deep-Sea Research, 27A: 99-118.

Winant, C. D. y A. W. Bratkovich. 1981. Temperature and currents on the Southern California Shelf: A description of the variability. Journal of Physical Oceanography. 11(1): 71-86.

Wooster, W. S. y J. L. Reid. 1963. Eastern Boundary Currents. The Sea. M. N. Hill, Ed. Interscience, 253-280.

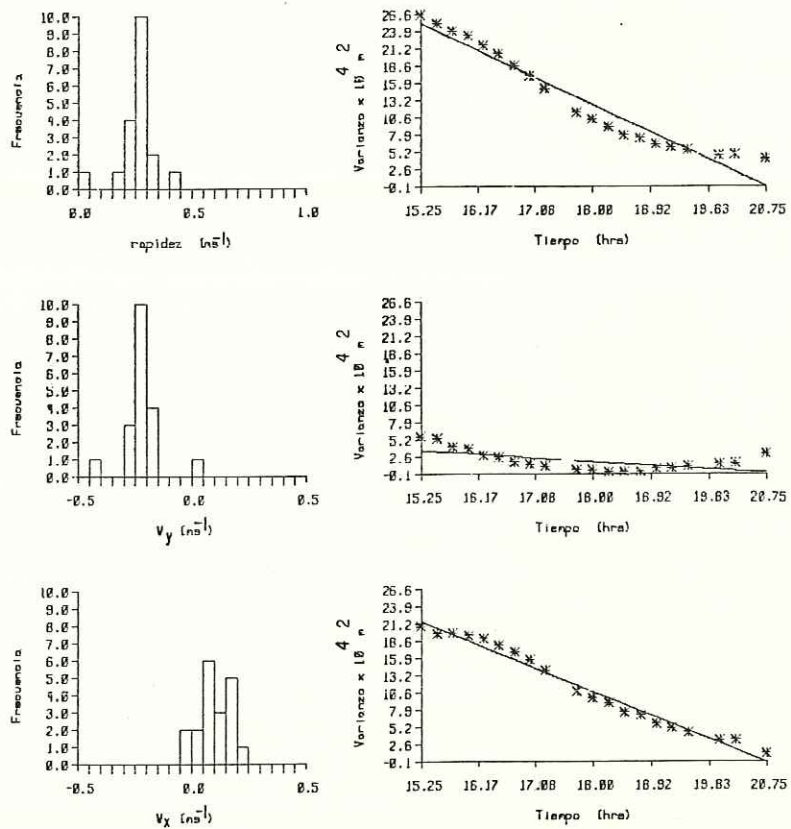


FIG. A1.- Idem. 8, para el día 23 de marzo 1985.

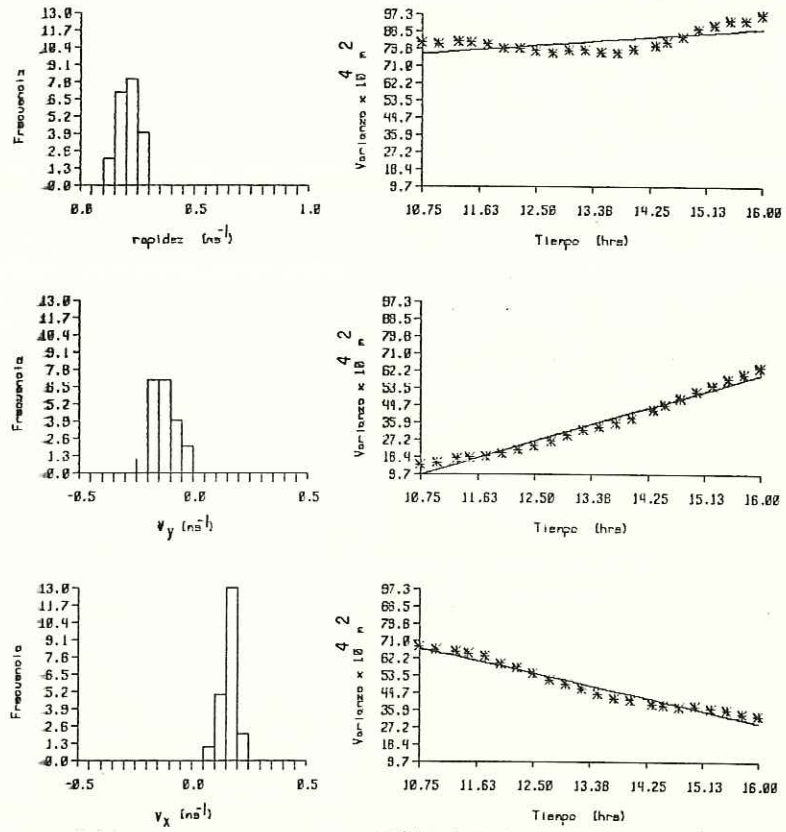


FIG. A2.- Idem. 8, para el día 23 de marzo 1985.

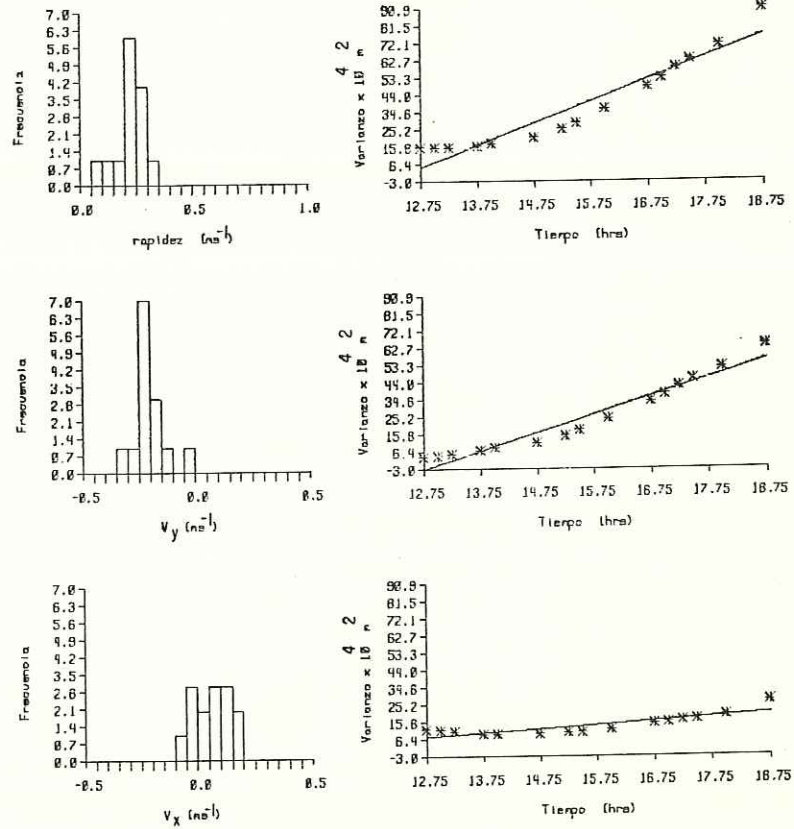


FIG. A3.- Idem. 8, para el día 24 de marzo 1985.

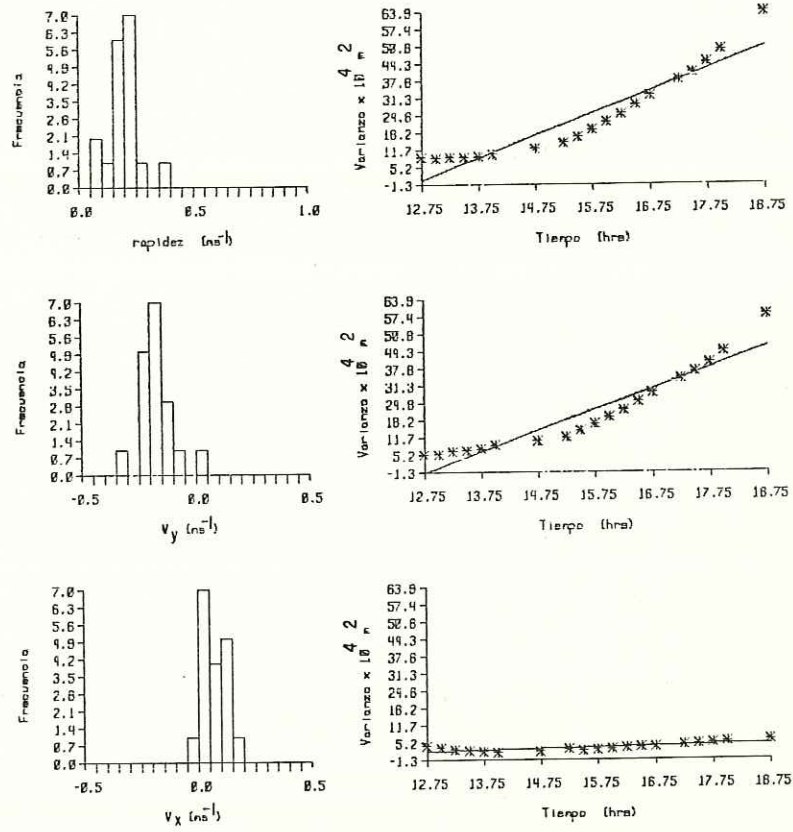


FIG. A3b.- Idem. 8, para el día 24 de marzo 1985.

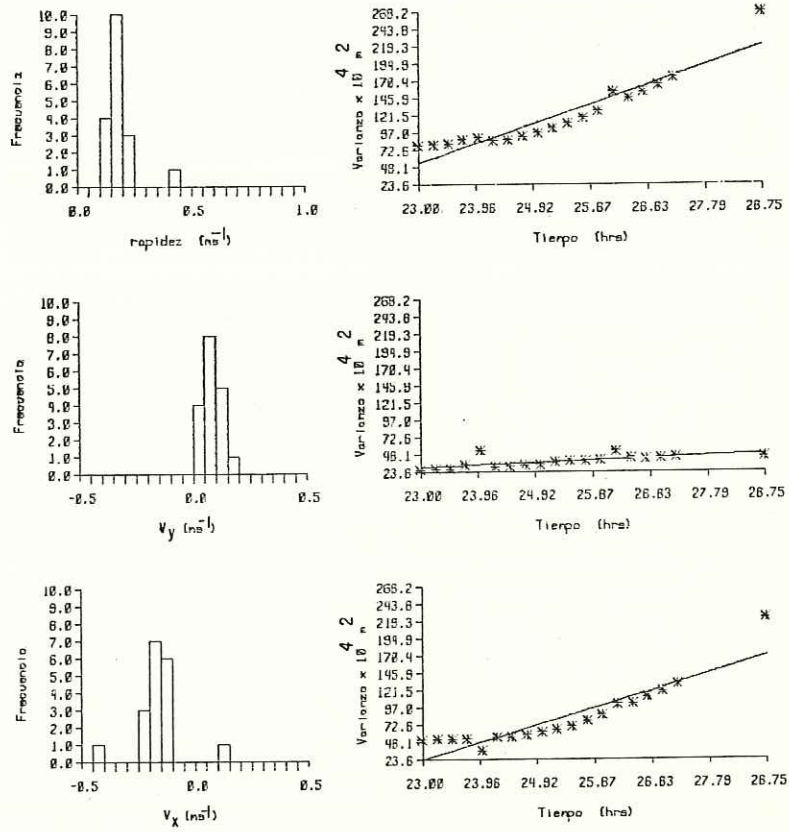


FIG.A4.- Idem. 8, para el día 4 de julio 1985 .

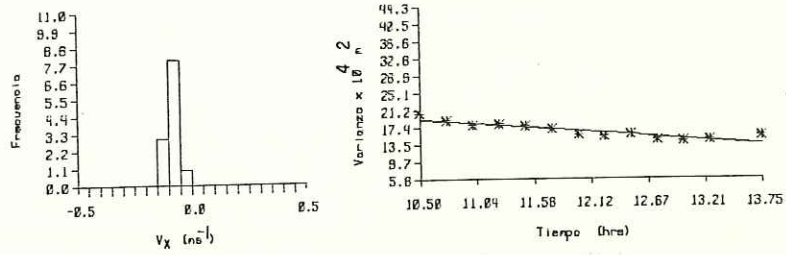
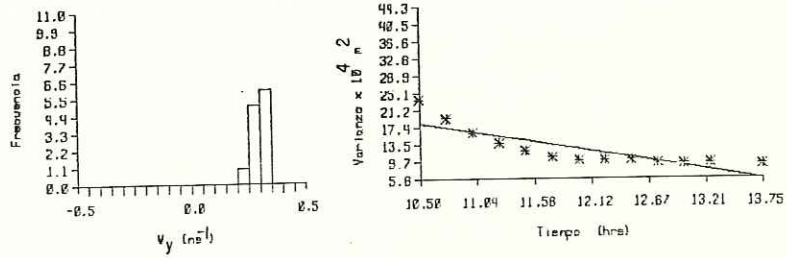
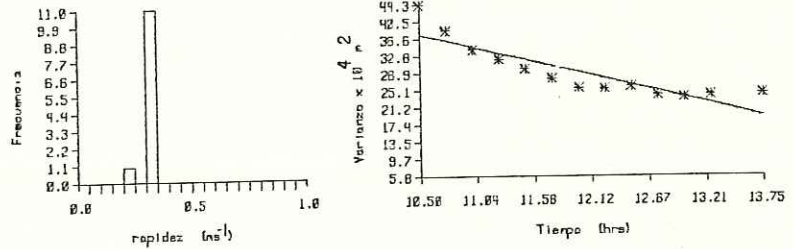


FIG.A5.- Idem. 8 , para el día 5 de junio 1985.

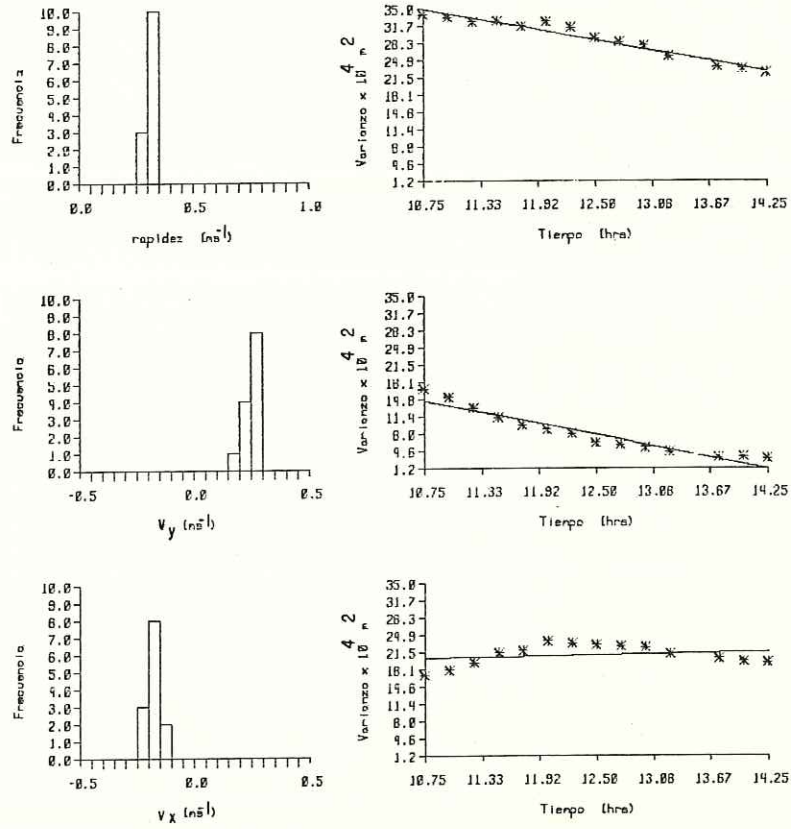


FIG. A5b.- Idem. 8, para el día 5 de julio 1985.

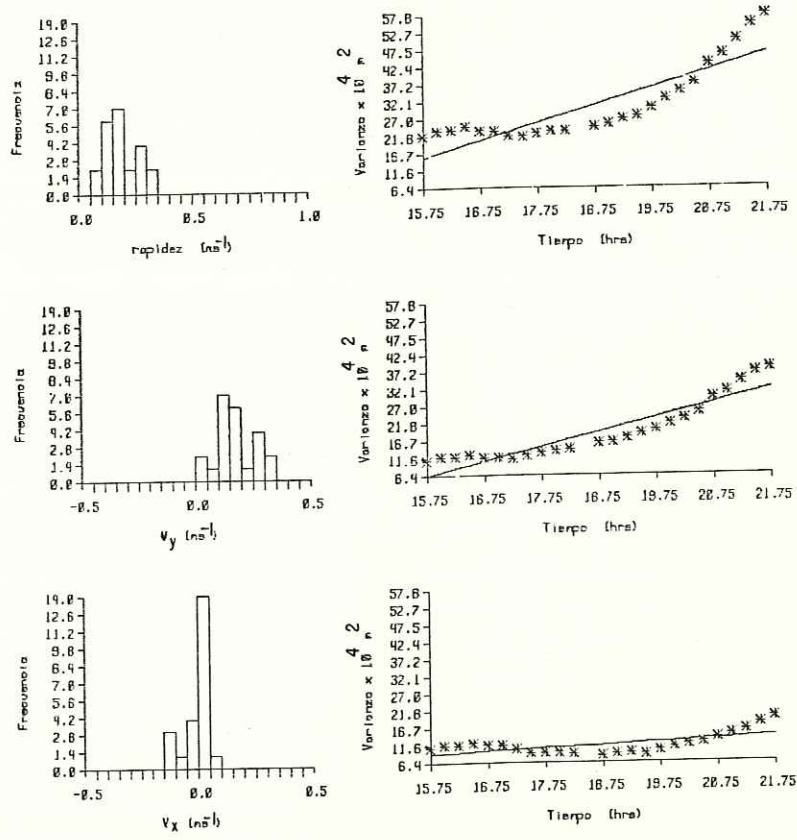


FIG. A 6.- Idem. 8, para el día 5 de julio 1985.

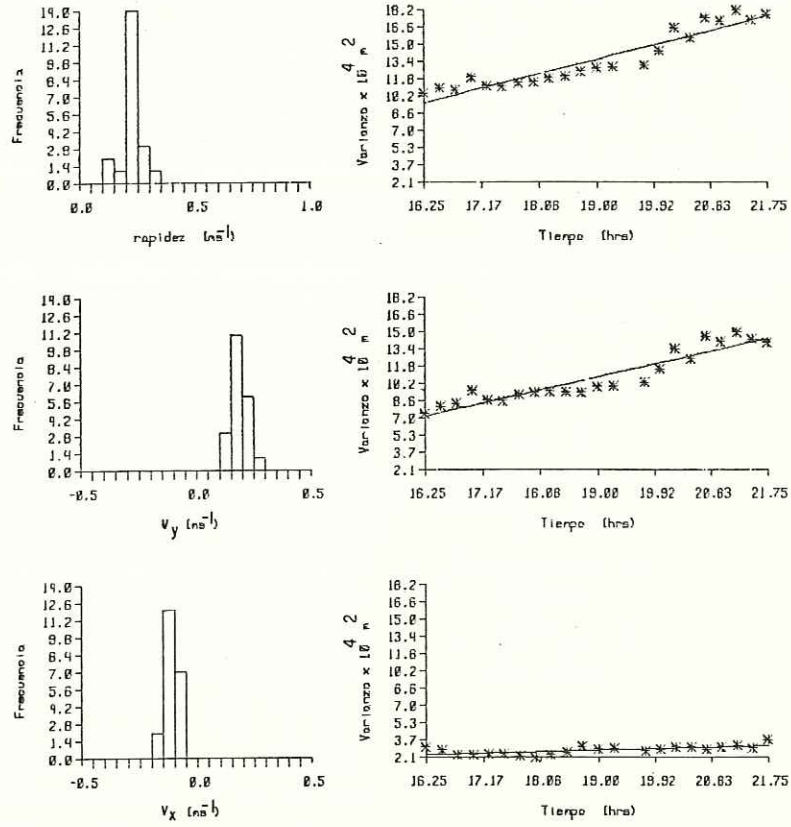


FIG. A6 b.- Idem. 8 , para el día 5 de julio 1985.

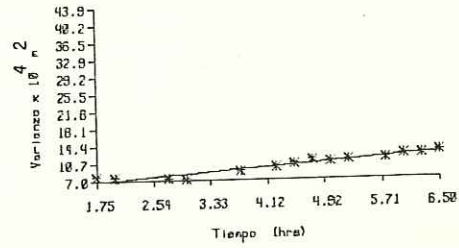
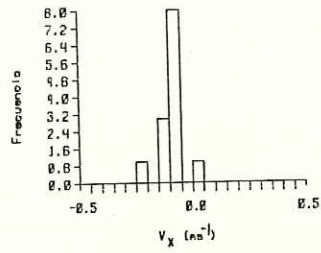
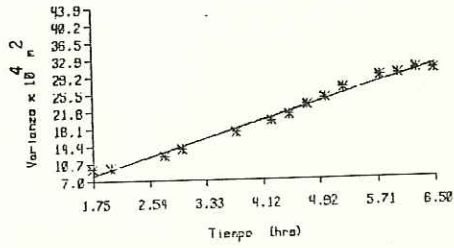
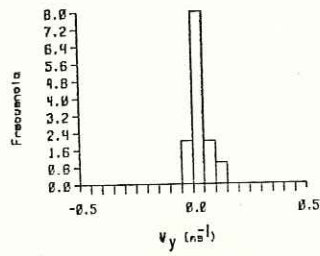
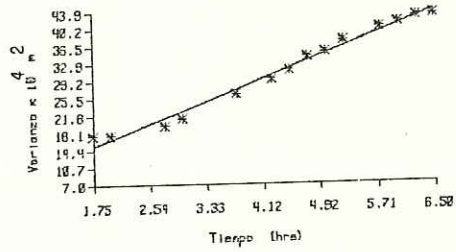
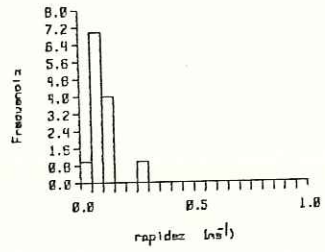


FIG. A7.- Idem. 8, para el día 6 de julio 1985.

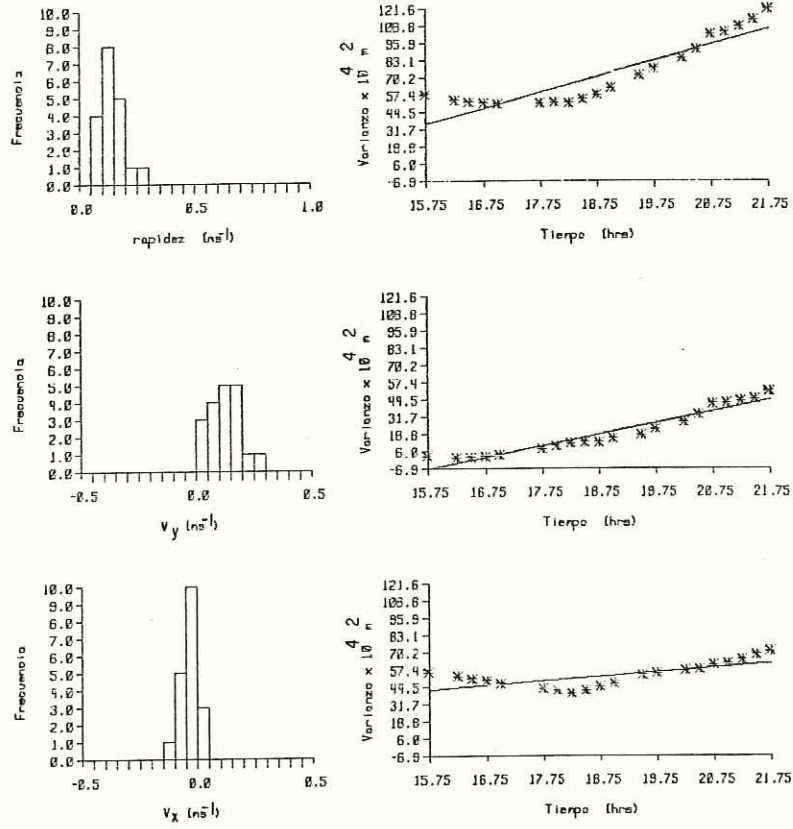


FIG. A 8.- Idem. 8, para el día 6 de julio 1985.

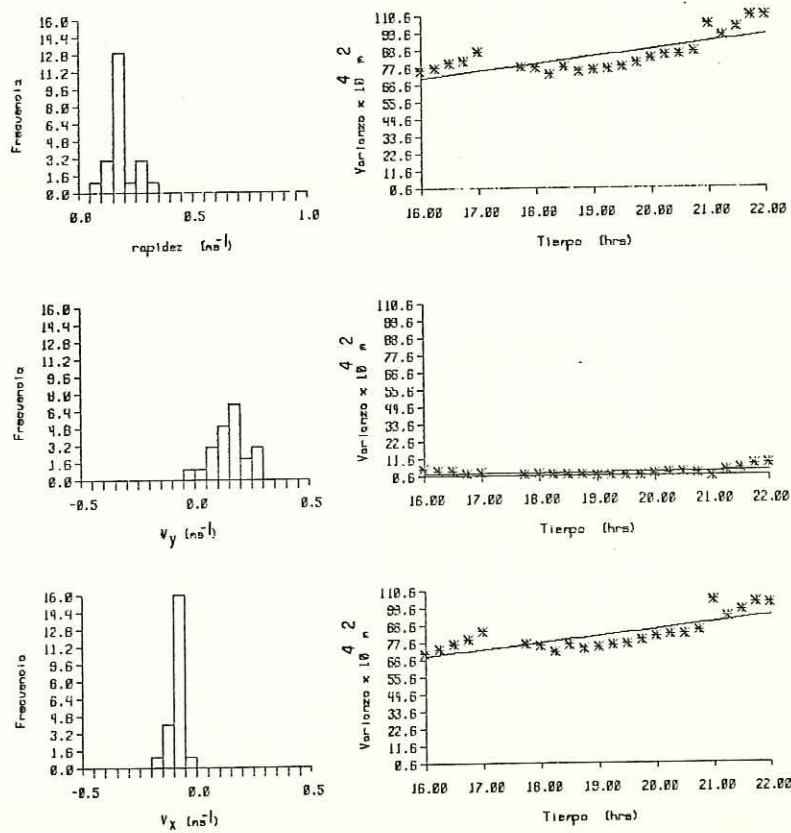


FIG. A 8 b.- Idem. 8, para el día 6 de julio 1985.

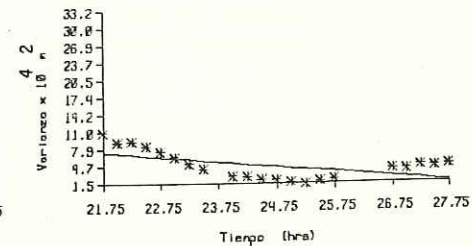
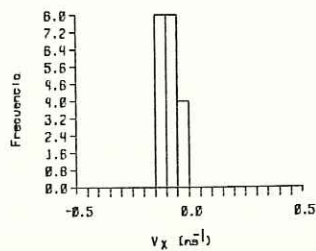
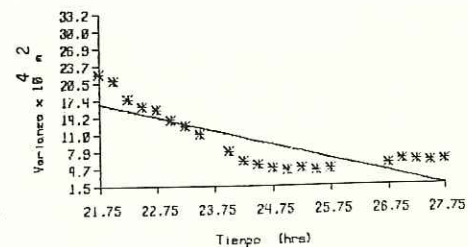
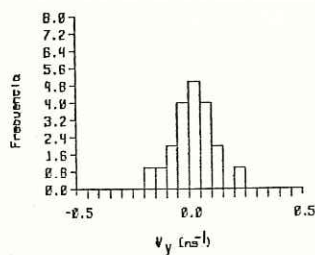
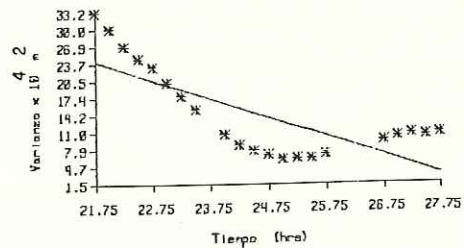
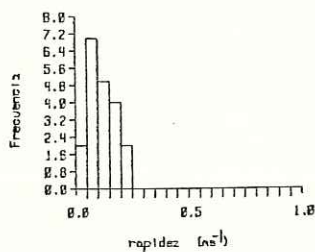


FIG. A9.-Idem. 8, para el día 7 de julio 1985.

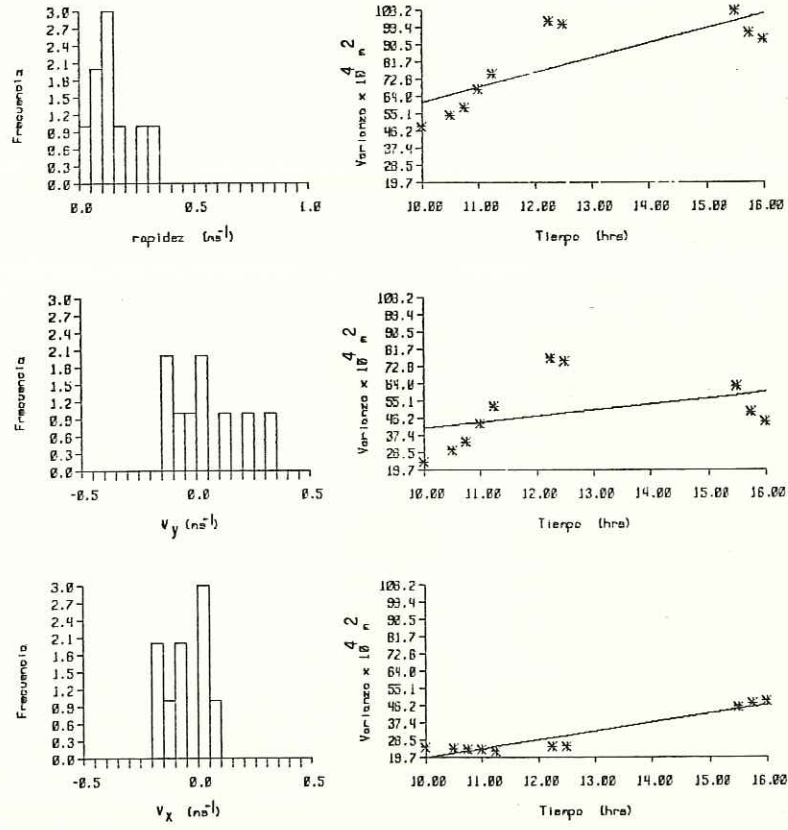


FIG. A10.- Idem. 8, para el día 9 de julio 1985.

RECONOCIMIENTOS.

Quiero agradecer a todas las personas que colaboraron para la elaboraci6n de este trabajo y en especial a el Dr. Miguel Fernando Lavín - Peregrina por haber dirigido el mismo.

Al M.C. Luis Gustavo Alvarez Sánchez responsable ante CoNACyT del proyecto del cual este trabajo forma parte (Clave PCECBNA - 021263).

A los Maestros en Ciencias René Pinet Placencia, Santiago Velez Muñoz y al Ocean6logo Oscar Delgado Gonzalez por la ayuda brindada.

Al Ocean6logo Sergio Emilio Ramos Rodriguez y al Sr. Fabian Cabrera Santillán por los dibujos realizados para este trabajo.